

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Biometrie osádky vozidla s online přenosem a vizualizací
Vehicle Crew Biometry with Online Transmission and
Visualization

Ostrava, 2014

Jaromír Čech

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Jaromír Čech**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik
Téma: **Biometrie osádky vozidla s online přenosem a vizualizací**
Vehicle Crew Biometry with Online Transmission and Visualization

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou měření životních funkcí.
2. Seznámení se s problematikou zpracování dat v reálném čase.
3. Návrh mobilního vestavěného systému pro měření a sběr dat v reálném čase.
4. Realizace prototypu.
5. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. *Handbook of multisensor data fusion*. Edited by Hall, David L.- Llinas, James. Boca Raton(USA): CRC Press LLC, 2001. 568s. ISBN 0-8493-2379-7.
2. *Mobile, wireless, and sensor networks : technology, applications, and future directions*. Edited by Rajeev Shorey ... [et al.]. Hoboken(USA): Wiley-IEEE Press, 2006. 430s. ISBN 0-471-71816-5.
3. HARSANYI, Gabor. *Sensors in Biomedical Applications: Fundamentals, Technology and Applications*. 1st ed. CRC Press, 2000. 368s. ISBN 1566768853.
4. *Biomedical Sensors*. Edited by Deric Jones. New York(USA): Momentum Press, 2009. 320s. ISBN 978-1-60650-056-9.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Vala**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 07.05.2014

doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

*Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.
Uvedl jsem všechny literární zdroje a publikace, ze kterých jsem čerpal.*

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Čech', is positioned above a horizontal dotted line.

Jaromír Čech

Datum odevzdání bakalářské práce: 7.5.2014

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Davidu Valovi za cenné rady, konzultace a připomínky spojené s vypracováním mé práce.

Abstrakt

Předmětem mé bakalářské práce je návrh prototypu vestavěného senzorového systému pro vyhodnocování akcelerometrických údajů. Má za úkol seznámit s problematikou měření, získávání dat, jejich zpracování v reálném čase a návrh mobilního vestavěného systému pro tato měření. Hlavním cílem bakalářské práce je realizace senzorového systému. Snímané údaje jsou v reálném čase přenášeny do nadřazeného systému, kde jsou zpracovány vyhodnocovány a archivovány. K přenosu těchto dat je využíváno rozhraní Bluetooth.

Práce je rozdělena do dvou částí. První část seznamuje s obecným úvodem. Dále se zabývá potřebou měření a zpracováním dat. Druhá část popisuje návrh mobilního zařízení pro sběr dat a jeho praktickou realizaci.

Klíčová slova

Kinematika trupu, akcelerometr, gyroskop, magnetometr, bezdrátový přenos.

Abstract

The subject of my thesis work is the built prototype sensor system for evaluating accelerometric data. It aims to familiarize with the problems of measurement, data acquisition, processing and real-time embedded system design for mobile measurements. The main aim of this thesis is the implementation of the sensor system. The acquired data are transmitted in real time to the host system, where they are processed and evaluated archived. The transfer of this data is used by Bluetooth.

The work is divided into two parts. The first part introduces the general introduction. It also deals with the need for measurement and data processing. The second part describes the design of mobile devices for data collection and its practical implementation.

Key words

Kinematics of the trunk, accelerometer, gyroscope, magnetometer, wireless transmission.

Seznam použitých symbolů a zkratek

a – zrychlení [m/s^2]

ACK – z angl. Acknowledge – potvrdit

A/D – analogově digitální

AMR – z angl. Anisotropic Magneto-resistive – anizotropní magneto-rezistivní

C – kapacita [F]

CAN – z angl. Controller Area Network – sériová datová sběrnice

CMOS – z angl. Complementary Metal Oxide Semiconductor – doplňkový kovový polovodič

CPU – z angl. Central Processing Unit – centrální řídicí jednotka

d – vzdálenost mezi deskami kondenzátoru [m]

dB - decibel

DNA – deoxyribonukleová kyselina

DPS – deska plošných spojů

ε - permitivita prostředí

EDR – z angl. Enhanced Data Rate – zvýšený tok dat

EKG – elektrokardiograf

F_g – gravitační síla [N]

f_{max} - maximální frekvence [Hz]

f_v - frekvence vzorkování [Hz]

g – gravitační zrychlení [m/s^2]

GPS – z angl. Global Positioning System – celosvětový polohový systém

HDD – z angl. Hard Disc Drive – pevný disk

HS – z angl. High Speed – vysokorychlostní

I – moment setrvačnosti [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]

I2C – z angl. Inter-Integrated Circuit – multimastrová sériová sběrnice

IEEE – z angl. institute of Electrical and Electronics Engineers - Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství

ISM – z angl. Industrial, Scientific and Medical – průmyslové, vědecké a lékařské

kB - kilobajt

kBd – kiloBaud

L – vektor úhlového momentu

m – hmotnost [kg]

n – hustota nosičů náboje

MCU – z angl. Multipoint Control Unit – vícepřístupová řídicí jednotka

MEMS – z angl. Micro Electro Mechanical Systems – mikro elektro mechanický systém

MISO – komunikační linka sběrnice SPI pro předávání dat do Slave k Masteru

MOSI – komunikační linka sběrnice SPI pro předávání dat od Masteru k Slave

PCR – z angl. Polymerase Chain Reaction – polymerázová řetězová reakce
PND – z angl. Personal Navigation Device – osobní navigační zařízení
q – elementární náboj [Coulomb]
 R_H – Hallova konstanta
RAM – z angl. Random Access Memory – náhodně přístupová paměť
RST - reset
R/W – z angl. Read/Write – čtení/zápis
S – plocha elektrod [mm²]
SCK – časovací linka sběrnice SPI
SCL – z angl. Serial Clock – sériová časová základna
SDA – z angl. Serial Data – sériová datová linka
SMD – z angl. Surface Mount Device – součástka pro povrchovou montáž plošných spojů
SPI – z angl. Serial Peripheral Interface – sériové periferní rozhraní
STM – z angl. Scanning Tunneling Microscope - mikroobráběcí rastrovací tunelové mikroskopy
 τ - vektor točivého momentu
UART – z angl. Universal Asynchronous receiver/transmitter – univerzální asynchronní přijímač/vysílač
uT – mikro Tesla
 ω – vektor úhlové rychlosti

Seznam obrázků

- Obr. 1 Translační a rotační pohyb souřadného systému [1]
- Obr. 2 Vyjádření aktuální prostorové situace (x''', y''', z''') referovaný k výchozímu systému (x, y, z) v Eulerově souřadné soustavě [1]
- Obr. 3 Automobilová sedačka
- Obr. 4 Síly působící na řidiče při průjezdu levotočivou zatáčkou
- Obr. 5 Piezoelektrický akcelerometr
- Obr. 6 Piezorezistivní akcelerometr
- Obr. 7 Princip kapacitního akcelerometru s pohyblivou elektrodou
- Obr. 8 Mechanický gyroskop
- Obr. 9 Měření rotace pomocí gyroskopu
- Obr.10 Velikost Coriolisovy síly na osobu pohybující se k okraji kruhu
- Obr. 11 Působení Coriolisovy síly na mechanický gyroskop
- Obr. 12 Zjednodušená struktura snímače MEMS gyroskopu
- Obr. 13 Magnetorezistivní čidlo z materiálu permalloy
- Obr. 14 Princip Hallova snímače
- Obr. 15 Magnetický kompas pro určování orientace
- Obr. 16 Zapojení Master-Slave
- Obr. 17 Koncepce sběrnice I2C
- Obr. 18 Podmínky start a stop
- Obr. 19 Časování signálu SCL na I2C
- Obr. 20 Formát rámců na sběrnici I2C
- Obr. 21 Provedení nevětvené linky RS 485
- Obr. 22 Topologie sítě Bluetooth, zleva, piconet – point to point, piconet – point to multipoint, scatternet – více master jednotek
- Obr. 23 Návrh měřicího řetězce
- Obr. 24 Umístění jednotlivých částí v chrániči páteře
- Obr. 25 Schéma zapojení akcelerometru s gyroskopem LSM330DL
- Obr. 26 Schéma zapojení magnetického kompasu HMC5883L
- Obr. 27 Schéma zapojení mikrokontroleru ATmega328P-AU
- Obr. 28 Schéma zapojení programovacích a datových pinů
- Obr. 29 Schéma zapojení LM2574M pro regulaci vstupního napětí
- Obr. 30 Schéma zapojení bluetooth modulu
- Obr. 31 Horní strana DPS – strana cest
- Obr. 32 Spodní strana DPS – strana cest
- Obr. 33 Horní strana prototypu
- Obr. 34 Spodní strana prototypu

Obr. 35 Vizualizační software

Obr. 36 3D vizualizace

Obr. 37 Vývojový diagram hlavní struktury mikrokontroléru

Obr. 38 Zápis do registru senzoru (vlevo), čtení dat ze senzoru (vpravo)

Obr. 39 Blokové schéma programu v prostředí LabView

Obr. 40 Testování 3D obrazce

Obr. 41 Implementace do chrániče páteře

Obsah

1. Úvod	1
2. Inerciální a neinerciální vztažná soustava	2
2.1 Inerciální soustava	2
2.2 Neinerciální soustava	2
3. Inerciální snímání polohy	3
3.1 Inerciální systém	3
3.2 Doprovodné inerciální systémy	5
3.3 Výhody inerciálních systémů	5
4. Interakce řidič – sedačka	6
4.1 Působení sil	6
4.2 Přenos vibrací	8
5. Měření orientace v prostoru	10
5.1 Akcelerometr	10
5.1.1 Druhy akcelerometrů	11
5.1.2 Principy MEMS akcelerometrů	13
5.2 Gyroskop	14
5.2.1 Principy MEMS gyroskopů	15
5.3 Magnetický snímač	18
5.3.1 Principy magnetických snímačů	18
5.3.2 Druhy magnetických snímačů	18
5.3.3 Magnetický snímač MEMS	21
6. Komunikace	22
6.1 Rozhraní SPI	22
6.2 Rozhraní I2C	23
6.2.1 Fyzická vrstva	23
6.2.2 Linková vrstva	25
6.2.3 Adresování	25
6.3 Linkový přenos dat	25
6.4 Bezdrátová komunikace	26
6.5 Bluetooth	29

7. Návrh zařízení.....	31
7.1 Výběr vhodných součástek	32
7.2 Akcelerometr, gyroskop LSM330DL	34
7.2.1 Schéma zapojení kombinovaného senzoru.....	34
7.3 Magnetický kompas HMC5883L	35
7.3.1 Schéma zapojení magnetometru.....	35
7.4 Mikroprocesor ATmega328P-AU	35
7.4.1 Schéma zapojení MCU.....	36
7.5 Napájení soustavy	37
7.5.1 Schéma zapojení napájecí soustavy.....	38
7.6 Bluetooth modul	38
7.6.1 Schéma zapojení pro komunikaci.....	38
8. Realizace.....	40
8.1 Návrh DPS	40
8.2 Osazení DPS	40
8.3 Vizualizační software	41
8.4 Komunikační protokoly	43
8.4.1 Vývojový diagram MCU.....	43
8.4.2 Vývojový diagram LabView	45
9. Testování	46
10. Závěr.....	48
POUŽITÁ LITERATURA.....	49

1 Úvod

Tématem této práce je seznámení se s problematikou měření orientace lidského trupu a přetížení, které na něj působí během jízdy ve vozidle. Úkolem je navrhnout takový inerciální systém, který bude měřit orientaci a snímat pohyb trupu vůči povrchu země. Zároveň musí splňovat podmínky, kdy bude umístěn na těle tak, aby neomezoval při pohybu.

V dnešní době se stále více, v biomedicíně, uplatňují technologie využívající miniaturizace a bezdrátových přenosů. Oborem, který se zabývá bezdrátovým přenosem biometrických dat je biotelemetrie, která se v dnešní době stává nedílnou součástí každodenního života.

Pomocí senzorových systémů využívajících bezdrátových přenosů je možno sledovat fyzickou i psychickou zátěž snímané osoby a vyhodnotit zátěžové a stresové vlivy. Umožňuje nám také sledovat reakce snímané osoby na změny prostředí a v případě problému také upozornit a napomoci k vytvoření optimálního řešení nastalého problému.

Obsahem bakalářské práce je seznámení se s problematikou měření dynamických sil působících na trup osoby a jejich pořizování a následné zpracování v reálném čase. Dále návrh mobilního vestavěného systému pro měření a sběr těchto dat. Hlavním cílem je pak realizace samotného prototypu, který bude obsahovat senzorový systém, bezdrátové komunikační rozhraní a napájecí jednotku.

2. Inerciální a neinerciální vztažná soustava

2.1 Inerciální soustava

Jako inerciální vztažnou soustavu můžeme považovat takovou, která se vzhledem k pevnému bodu (např: Slunci), buď nepohybuje, nebo se všechny její pevné body pohybují rovnoměrně přímočaře. Základ úvah o inerciálních vztažných soustavách přispěl již v 17. století k obecně platnému závěru a to k mechanickému principu relativity. Při tomto pohybu žádný stacionární bod v soustavě nebude zakřivovat svoji trajektorii. „*Platí, že každá další vztažná soustava, je-li vzhledem k inerciální soustavě v klidu nebo pohybu rovnoměrném přímočarém, je rovněž inerciální.*“ [15] Jako příklad můžeme uvést například stěny vagonu, který se pohybuje po přímé trati stálou rychlostí. V inerciálních vztažných soustavách platí 1. Newtonův pohybový zákon - zákon setrvačnosti. Inerciální soustavy se vůči sobě navzájem pohybují rovnoměrný přímočarým pohybem nebo jsou vzájemně v klidu. [15][16]

2.2 Neinerciální soustava

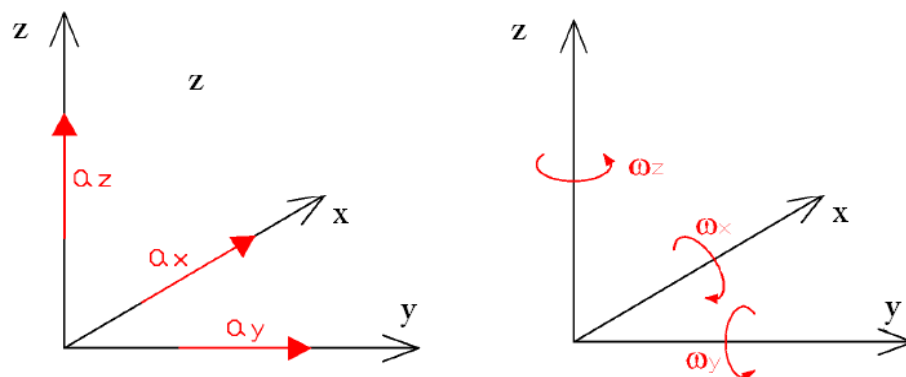
Ostatní vztažné soustavy jsou neinerciální. V takovýchto vztažných soustavách neplatí 1. Newtonův pohybový zákon ani 3. Newtonův pohybový zákon, tzn. že těleso, ačkoliv na ně nepůsobí žádná síla nebo výslednice sil je nulová, mění svůj pohybový stav (rychlost), tzn. pohybuje se s nenulovým zrychlením. Modelu inerciální vztažné soustavy s dobrou přesností vyhovuje Galileova vztažná soustava, jejíž počátek leží v hmotném středu sluneční soustavy a osy mají vzhledem ke stálým stálý směr. Vztažná soustava spojená se Zemí (laboratorní vztažná soustava) je neinerciální, protože se vzhledem ke Galileově vztažné soustavě pohybuje po zakřivené trajektorii a současně se otáčí. Při běžných dějích však nejsou projevy její neinerciálnosti příliš významné a proto ji v prvním přiblížení obvykle považujeme za soustavu inerciální [15]

3. Inerciální snímání polohy

Snímání dat o poloze v inerciální soustavě nám umožňuje určit aktuální polohu v prostředí, na povrchu země, ale i pod ním, bez signálů zprostředkovaných satelitními vysílači. Důvodem je použití senzorů, které nám podávají data o aktuálním zrychlení náklonu či orientaci v magnetickém poli země. Těmito snímači jsou akcelerometry, gyroskopy a magnetické kompasy. [1][20]

3.1 Inerciální systém

Princip je v celku jednoduchý. Senzory nám podávají data o aktuálních silách působících na těleso (v našem případě na trup osoby). Máme tak k dispozici informace o aktuálním zrychlení jak přímočarém, tak i úhlovém a to ve všech osách (x , y , z). Pomocí akcelerometru můžeme snímat jak zrychlení, tak i určovat množství vibrací přenesených na trup řidiče automobilu. Akcelerometr tedy slouží k detekci translace. Gyroskopem dále určujeme úhlová otočení, čili rotaci v prostoru. [1][20]

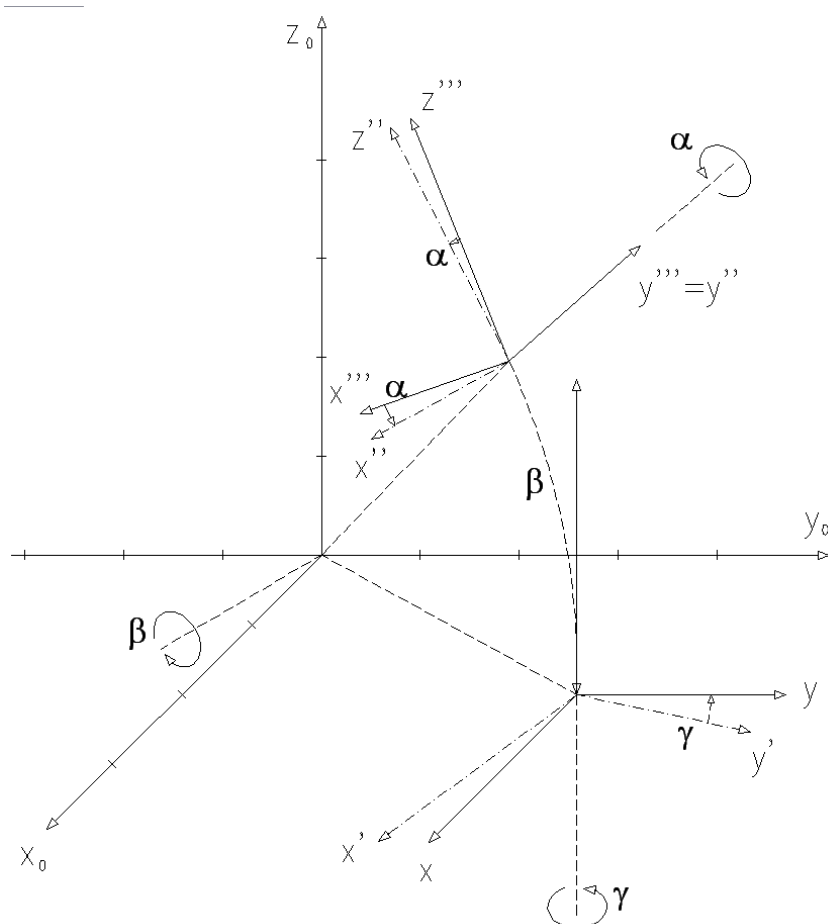


Obr. 1 Translační a rotační pohyb souřadného systému [1]

Praktická realizace takového systému je již složitější právě proto, že pro určení aktuální polohy je třeba naměřený signál vícenásobně integrovat., což zvyšuje chybu určení uražené vzdálenosti a aktuální polohy vůči výchozímu bodu. Máme-li však těleso u něhož nás zajímají pouze výsledné síly působící na něj tzn. aktuální vektor zrychlení a náklon vůči povrchu země, jedná se o základní operaci se senzory a nedochází k odchýlkám. Pozor je třeba dát akorát na kompenzaci gyroskopu. Doplnění inerciálního navigačního systému o magnetický kompas účinně snižuje chybu akcelerometrů a gyroskopů. [1][20]

Matematický model pro výpočet polohy může být pomocí přidání pravoúhlého souřadnicového systému. Jsou definovány tři osy: roll (alpha), pitch (beta) a směr yaw (gamma).

Translace jednotlivých složek vztahujících se k výchozímu systému je vyjádřena jako: $(x''', y''', z''') = (\alpha) \Rightarrow (x'', y'', z'') = (\beta) \Rightarrow (x', y', z') = (\gamma) \Rightarrow (x, y, z)$ [1][20]



Obr. 2 Vyjádření aktuální prostorové situace (x''', y''', z''') referovaný k výchozímu systému (x, y, z) v Eulerově souřadné soustavě [1]

Výpočet aktuálního natočení soustavy:

$$\begin{pmatrix} \Delta\alpha \\ \Delta\beta \\ \Delta\gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \sin(\alpha) \cdot \tan(\beta) & -\cos(\alpha) \cdot \tan(\beta) \\ 0 & \cos(\alpha) & \sin(\alpha) \\ 0 & -\sin(\alpha) / \cos(\beta) & \cos(\alpha) / \cos(\beta) \end{pmatrix} \quad (1)$$

Výpočet aktuálních zrychlení soustavy:

$$\begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\gamma) \cdot \cos(\alpha) & -\sin(\gamma) \cdot \cos(\beta) & \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma) \\ -\sin(\gamma) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\alpha) & & + \sin(\alpha) \cdot \cos(\gamma) \\ \sin(\beta) \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\gamma) & \cos(\gamma) \cdot \cos(\beta) & \cos(\gamma) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\alpha) \\ -\cos(\alpha) \cdot \sin(\gamma) & & + \sin(\gamma) \cdot \sin(\alpha) \\ \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) & -\sin(\beta) & \cos(\beta) \cdot \cos(\alpha) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \Delta x'' \\ \Delta y'' \\ \Delta z'' \end{pmatrix} \quad (2)$$

3.2 Doprovodné inerciální systémy

Určování polohy pomocí GPS přijímačů má značné nedostatky zejména tam kde není možno zachytit signál ze satelitů. Například v hlubokých údolích kde signál ruší hory. Proto se GPS navigace kombinují právě s inerciálními systémy pro upřesnění polohy. Takovýto celek se pak označuje jako GPS/INS. GPS přijímače umí poskytovat informace o pozici rychlosti a poloze v prostoru pouze s omezenou přesností, která se ale s časem nezhoršuje. Jelikož INS pracují na principu určování polohy z aktuálního zrychlení, je třeba, aby systém získal informace o počáteční poloze z nějakého jiného systému (GPS). Určení polohy je ale zatíženo množstvím chyb jak systematických tak i náhodných. [1][17][20]

3.3 Výhody inerciálních systémů

Jelikož tyto systémy nevyžadují žádná externí zařízení je jejich obrovskou výhodou soběstačnost a nezávislost, velmi vhodné pro podzemní a podmořské určování polohy. Naopak jejich nevýhodou je stále nízká přesnost a zatížení chybami, které se kumulují s časem.

4. Interakce řidič - sedačka

„Kinematika je částí mechaniky, která se zabývá určováním polohy bodů a jejich změn v čase. Při této determinaci se nezabývá příčinami pohybu. Mezi veličiny, jimiž v rámci kinematiky pohyb popisujeme, patří dráha, rychlost, zrychlení. Kinematika tedy zkoumá pohyb z hlediska jeho průběhu v prostoru a v čase.“ Lidské tělo je soustavou hmotných segmentů, které nejsou dokonale tuhými tělesy. Segmenty těla jsou spojeny klouby umožňujícími měnit jejich polohu. Velká proměnlivost vzájemných poloh segmentů těla způsobuje značné obtíže při stanovení mechanických vlastností pohybového systému s vnějším prostředím. Zároveň je potřeba zdůraznit pohybové síly, jenž působí na lidské tělo při různých pohybových činnostech, ať už sportovních, nebo vystavení různým zrychlením či vibracím. [16]

4.1 Působení sil

Asi nejdůležitější částí těla je, z hlediska vystavení vnějším vlivům, trup. Při zrychleních dochází k působení vnějších sil na tělo, potažmo na trup a vnitřní orgány. Vzájemné působení mezi řidičem vozidla a sedačkou, způsobuje tlak na páteř a přenos vibrací ze sedačky na trup, kde jsou uloženy orgány. Některé druhy vibrací mohou nevhodně působit na jejich činnost či způsobovat únavu. S využitím senzorů pro inerciální navigaci můžeme určit, jak aktuální náklon a rychlost trupu v prostoru tak i množství vibrací přenesených na trup řidiče.



Obr. 3 Automobilová sedačka

Pomocí senzorů pro inerciální navigaci můžeme určovat aktuální přetížení působící na řidiče při zrychlování, brzdění, či při průjezdu zatáčkou. Toto přetížení má výsledný směr, který je dán vektorovým součtem zrychlení v jednotlivých osách x, y, z. Jelikož jsou osy senzoru na sebe kolmé, můžeme počítat jejich vektorový součet pomocí Pythagorovy věty

$$a_v = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (3)$$

Dle jednoduchého vztahu lze z hodnoty výsledného zrychlení určit aktuální přetížení,

$$a_g = \frac{a_v}{g} \quad (4)$$

kde a_v je výsledná hodnota zrychlení působící na těleso
 g je gravitační zrychlení.

Vzhledem k tomu, že senzory mají kompenzaci gravitačního zrychlení $0g$, poskytují informaci o aktuálním zrychlení s působením gravitační síly. Do výsledného zrychlení při určování směru pohybu, je třeba gravitační zrychlení odečíst.

Z 3. Newtonova pohybového zákona, popisujícího vzájemné působení dvou těles vyplývá, že sedačka vozidla působí na řidiče stejnou silou jako řidič na ni. Tato síla je úměrná váze řidiče a zrychlení vozidla. S vyšší rychlostí klesá zrychlení a při konstantní rychlosti je vzájemné působení nulové. Nesmíme však zapomenout na gravitační zrychlení, které zde působí dále.

Interakce mezi řidičem a sedačkou tedy probíhá neustále. Nicméně na trup působí výraznější síly při zrychlení, jejich velikost

$$F_a = m \cdot a \quad (5)$$

kde F_a je síla ve směru zrychlení vozidla
 m je hmotnost řidiče
 a je zrychlení vozidla.

Na obr. 4 je znázorněno vzájemné působení sil mezi řidičem a sedačkou vozidla při průjezdu levotočivou zatáčkou. Výsledná síla bude vektorovým součtem jednotlivých sil působících na trup řidiče, jenž je představován hmotným bodem.



Obr. 4 Síly působící na řidiče při průjezdu levotočivou zatáčkou

Tento dynamický systém se neustále mění a vzájemná interakce se projevuje únavou zádového a sedacího svalstva. Abychom byli schopni tuto únavu nějakým způsobem monitorovat zavádí se studie o množství přenesených vibrací na trup potažmo na páteř potažmo na svalstvo, kterou rozeberu v další kapitole.

4.2 Přenos vibrací

Vibrace vzniká pohybem pružného tělesa nebo prostředí, jehož jednotlivé body kmitají kolem své rovnovážné polohy např. rotor elektrického motoru, píst spalovacího motoru apod. Z těchto zdrojů pak přechází na člověka, který s nimi přichází do styku. Vibrace jsou charakterizovány amplitudou, frekvencí, rychlostí a zrychlením. K jejich hodnocení se pak používá zrychlení vibrací vyjadřované v decibelech za určitou dobu. Tato doba je normou stanovena na 8 hodin. A efektivní hodnota zrychlení vyjadřovaná v $[m \cdot s^{-2}]$. [21]

Riziko vibrací spočívá v tom, že každá část těla nebo tkáň rezonuje s jinou frekvencí přenášených vibrací. Nejnáchylnější částí lidského těla je bezpochyby trup, ve kterém jsou uloženy vnitřní orgány. V následující tabulce je uveden přehled rezonančních frekvencí pro různé části těla.

Tab. 1 Přehled rezonančních frekvencí některých částí těla [21]

Část těla	Frekvence [Hz]
hlava	20-30
oko	20-90
páteř	10-12
hrudník	50-100
břišní orgány	4-8
ruka	30-50
noha	2-20

V kabině vozu dochází přenosu vibrací prostřednictvím volantů, řadicí páky, pedálů, podlahy a sedačky. Právě vibrace přenesené na sedadlo představují největší riziko. Přenášejí se přes ukotvení sedačky ke karoserii vozidla a jejich působení je kontinuální až do doby než dojde k zastavení vozidla a vypnutí motoru.

Při dálkových cestách mohou vibrace způsobovat únavu zádového svalstva. V dnešní době se však s vývojem nových materiálů zlepšují i absorpční vlastnosti pěn používaných k vycpávání a polstrování sedaček, to zvyšuje komfort jízdy a snižuje únavu převážně zádového svalstva.

5. Měření orientace v prostoru

Pro správný výběr senzorů, je nutné spočítat hodnoty, jakých bude měřená veličina v reálných podmínkách nabývat.

5.1 Akcelerometr

Jsou to v dnešní době velmi používané snímače. Primární veličinou, kterou akcelerometry snímají je zrychlení. Akcelerometry jsou schopny měřit zrychlení jak dynamické, tak gravitační. Statické zrychlení je již ze svého principu neustále přítomné a je ho tedy nutné při měření dynamického zrychlení ve výsledcích odstranit filtrací. Sensory mohou měřit od velmi nízkých hodnot g, ale dokážou vydržet nárazově i hodnoty v okolo několika tisíc g. Jejich konstrukcí můžeme získat jednoosé (1D) i vícero akcelerometry (2D, 3D). [8]

Oblasti použití akcelerometrů:

- detekce pádu (ochrana HDD)
- stabilizace obrazu
- navigace
- monitorování seismické aktivity
- detekce nárazu (airbagy)
- dynamická kontrola vozidla (brzdové systémy)
- rehabilitační přístroje
- pedometry
- zařízení pro sportovní lékařství

V dnešní době se využívají 4 druhy akcelerometrů:

- piezoelektrické akcelerometry
- piezorezistivní akcelerometry
- tepelné akcelerometry
- kapacitní akcelerometry

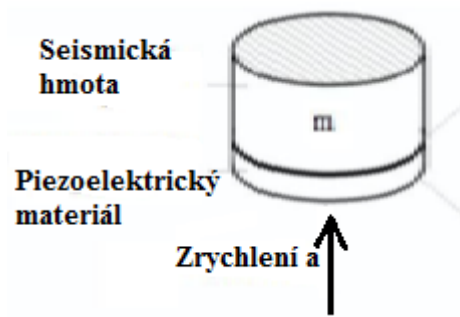
Trendem v oblasti vývoje je příklon k MEMS (mikro-elektromechanickým) akcelerometrům. Klasické mechanické senzory jsou tak v dnešní době nahrazovány součástkami vyrobenými touto MEMS technologií, které mají mnohem menší rozměry, nižší energetickou spotřebu a podstatně nižší cenu. Výhodou použití inerciální navigace s akcelerometrem je tzv. soběstačnost tohoto navigačního systému, což znamená, že pro funkci nejsou nutné žádné externí objekty. Nevýhodou těchto součástek je zatím stále nedostatečná přesnost pro mnohé aplikace. [1] [8]

5.1.1 Druhy akcelerometrů

Piezoelektrické akcelerometry

Základ piezoelektrických akcelerometrů tvoří dvě hlavní části. Piezoelektrický materiál - snímač měřící zrychlení a seismická hmota - převádí dle Newtonova zákona hodnotu zrychlení na sílu.

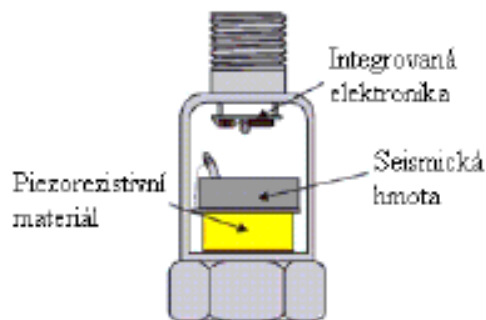
Jedna strana piezoelektrického materiálu (snímač, resp. převodník zrychlení) je upevněn na tuhou podpěru základny senzoru. Část pojmenovaná jako seismická hmota je připevněna na piezosnímač (případně také k druhé straně pouzdra). Jestliže je akcelerometr vystaven zrychlení a (vibracím, akceleraci, otřesům), generovaná síla F , která působí na piezoelektrický element, způsobí vygenerování náboje, resp. napětí na výstupu senzoru. Podle Newtonova zákona je tato síla úměrná zdroji zrychlení a seismické hmotě. Piezoelektrický efekt tak generuje na výstupu náboj q úměrný působící síle. Protože seismická hmota má konstantní hmotnost, výstupní signál v podobě náboje je úměrný akceleraci senzoru. Pokud je akcelerometr pevně upevněn k testovanému objektu, měří i jeho zrychlení (zrychlení celé soustavy). [11]



Obr. 5 Piezoelektrický akcelerometr.

Piezorezistivní akcelerometry

Piezorezistivní akcelerometr je senzor, který využívá piezorezistivní materiál místo piezoelektrického krystalu a jeho prostřednictvím převádí sílu vzniklou urychlovanou hmotou na změnu odporu. V integrovaných piezorezistivních akcelerometrech se využívá sítě vyleptaných měřících piezorezistivních snímačů (můstků) zapojených ve Wheatstonově můstku. Piezorezistivní akcelerometry mají tu výhodu oproti piezoelektrickým, že mohou měřit i stálou (neměnnou) akceleraci, tj. frekvenci změn od 0 Hz. Tak by mohla znít stručná charakteristika piezorezistivních akcelerometrů. [12]



Obr. 6 Piezorezistivní akcelerometr

Při dlouhém nepoužívání je potřeba zajistit průběžné testování akcelerometrů a získání spolehlivé informace o jejich funkci. Automatické testování v případě piezorezistivního akcelerometru může být realizováno celkem jednoduše, protože jeho malá hmotnost snímací hmoty může být snadno vychýlena malou elektrickou silou (elektrostatickou přitažlivostí hmoty k dorazům). Elektrické napětí přiložené na elektrody mezi hmotou a dorazy způsobí vychýlení hmoty. Ze získaného výstupního signálu se provede kalibrace a teplotní kompenzace senzoru.

Tepelné akcelerometry

Využívají základní fyzikální princip, který se v podobné verzi používá i u kalorimetrických průtokoměrů. Jde o přenos tepla v plynu a snímání rozložení teploty v okolí zdroje tepla. Topné tělísko zahřívá okolní vzduch ve vzduchové komoře na konstantní teplotu. Rozložení teploty v závislosti na vzdálenosti od topného tělíska je měřené teplotními snímači. Ty jsou realizovány soustavou termočlánků hliník, polykrystalický křemík, umístěných v pravidelných rozestupech. Celá tato soustava je implementována ve vyleptaném příkopě křemíkového substrátu. Celý senzor, včetně vyhodnocovací elektroniky, je plně integrován na jednom CMOS čipu senzoru, v jednom pouzdře. Teplotní akcelerometry patří svojí konstrukcí k nejspolehlivějším sensorům zrychlení. Měření pohybu pomocí přenosu tepla prakticky neumožňuje senzor zničit přetížením, tj. vystavení příliš velké hodnotě zrychlení. Nevýhodou této vlastnosti je velký vliv okolní teploty na citlivost senzoru. To je obvykle nutné kompenzovat dalším teplotním senzorem, termistorem, který je někdy již umístěn přímo na čipu akcelerometru. [9]

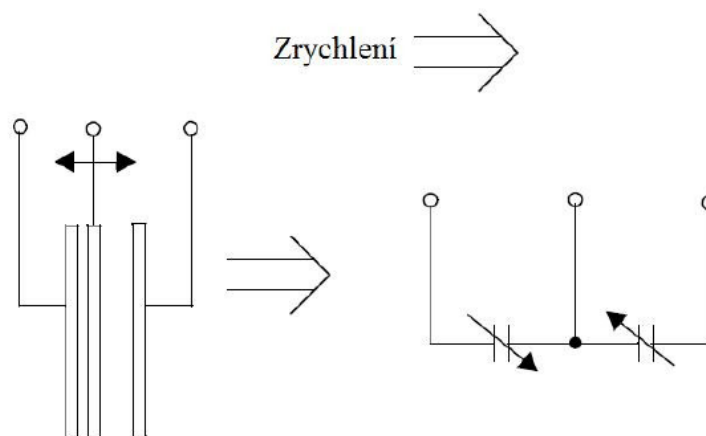
Kapacitní akcelerometry

Zrychlení je u tohoto typu akcelerometru detekováno tříelektrodovým pohyblivým kondenzátorem. Využívá se zde principu nelineární svislosti kapacity C na vzdálenosti elektrod kondenzátoru d .

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S}{d} \quad (6)$$

kde S je plocha elektrod deskového kondenzátoru [m^2],
 d je velikost elektrod [m],
 ε je permitivita, popisuje útlum elektrické intenzity vlivem prostředí [F/m].

Změna kapacit je realizována jednou pohyblivou deskou a dvěma pevnými, změnou polohy centrální elektrody dochází ke změnám vzdáleností a kapacit podle obr. 7.



Obr. 7 Princip kapacitního akcelerometru s pohyblivou elektrodou

5.1.2 Princip MEMS akcelerometrů

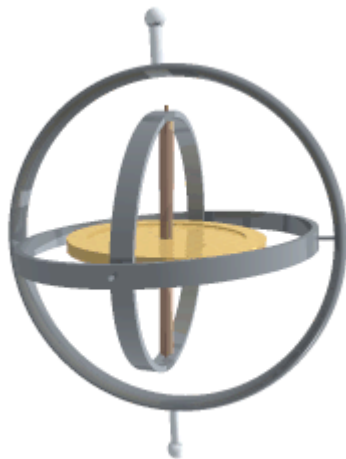
Technologie MEMS (Micro-Electro-Mechanical-System) integruje mechanické senzory, akční členy a elektroniku na křemíkovém substrátu. Mikro mechanické komponenty jsou tvořeny pomocí mikroobráběcích procesů, které buď vyleptávají části křemíkového plátu, nebo přidávají nové vrstvy a tvoří tak mechanická a elektromechanická zařízení. MEMS umožňují miniaturizaci měřicích a řídicích prvků a tím zvětšují pole možných aplikací a také dostupnost. Výrobní náklady jsou ve srovnání s klasickými diskrétními součástkami menší. V následujících odstavcích proberu několik oblastí, ve kterých získávají čipy MEMS uplatnění.

Biotechnologie MEMS umožní nové objevy ve vědě a inženýrství takových oborů, jako jsou polymerázová řetězová reakce (PCR), mikrosystémy pro identifikaci a rozšiřování DNA, mikroobráběcí rastrovací tunelové mikroskopy (STM), biočipy pro detekci riskantních chemických a biologických agentů, nebo mikrosystémy pro screening a výběr drog.

MEMS akcelerometry použité v airbagových systémech v automobilech rychle nahrazují konvenční akcelerometry. Starší konvenční přístup využívá několika objemných akcelerometrů zhotovených z diskretních součástí namontovaných na přední straně automobilu s oddělenou elektronikou blízko airbagu. Tato technologie stojí přibližně \$50 za automobil. MEMS technologie umožnila integrovat akcelerometr a elektroniku na jeden křemíkový čip v ceně mezi \$5 a \$10. Tyto MEMS akcelerometry jsou menší, lehčí, spolehlivější a podstatně levnější než konvenční velké akcelerometry.

5.2 Gyroskop

Gyroskop je zařízení, jehož pomocí lze určit směr zemské osy rotace bez jakéhokoliv geodetického připojování na okolní krajinu. Gyroskopu se využívá pro navigaci lodí, letadel, vojenské techniky, atd. V neposlední řadě se používá pro geodetická měření, zejména v podzemních prostorách. [10]



Obr. 8 Mechanický gyroskop

Gyroskopy jsou již dlouhou dobu známy a využívány pro měření a určování změny polohy nebo natočení libovolného předmětu, ke kterému jsou připevněny. Dříve však bylo možné použít jen mechanické provedení, případně optické s využitím světla, světlovodných vláken. Dnes je již lze ale najít v integrované podobě klasických součástek obsahující mimo samotný snímač i celou škálu vyhodnocovacích obvodů a logiky. Výstup je pak analogový, digitální nebo obojí. Díky tomu lze gyroskopy použít i v běžných aplikacích, nejen ve vědě a výzkumu. Například dnes běžné přesné určování pozice a sledování pohybu objektů přes GPS by bez gyroskopů nebylo možné. [10]

Použití gyroskopů

- detekce a měření rotačního pohybu
- stabilizační jízdní systémy automobilů
- zpřesňování pozice systémů GPS
- stabilizace obrazu a předmětů
- zjišťování změny polohy, detekce pohybu
- měření setrvačnosti
- měření náklonu
- detekce převrácení, např. automobilu
- navádění a řízení raket, letadel, robotů apod.

Základním vztahem popisujícím chování gyroskopu je

$$\tau = \frac{dL}{dt} = \frac{dI\omega}{dt} = I\alpha \quad (7)$$

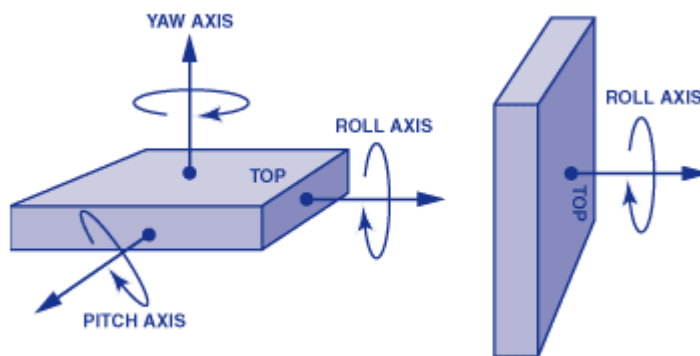
kde τ je vektor točivého momentu
 L vektor úhlového momentu
 I moment setrvačnosti
 ω vektor úhlové rychlosti
 α vektor úhlového zrychlení.

Podle fyzikálního principu je můžeme rozdělit na:

- mechanické
- laserové
- kvantové
- jaderné
- elektronické
- optické

5.2.1 Principy MEMS gyroskopu

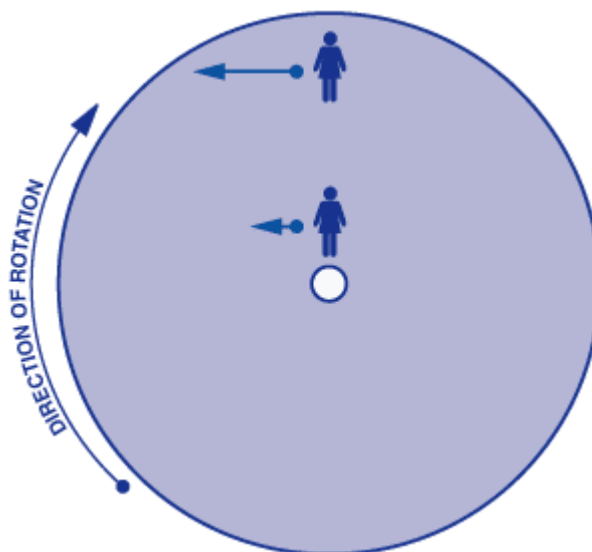
Gyroskopy jsou obecně určené pro měření úhlové rychlosti, tzn. údaj o tom, jak se měřený objekt rychle otáčí, v jednotkách stupňů za sekundu (°/s). Rotaci je možné typicky měřit vzhledem k jedné ze tří os z, y, x, někdy označované jako svislá (kolmá) osa (yaw axis), příčná osa (pitch axis) a podélná osa (roll axis).



Obr. 9 Měření rotace pomocí gyroskopu

K dobrému pochopení principu dále uvedených senzorů je nutné si alespoň stručně připomenout, co to je tzv. Coriolisova síla. Základní poučka z fyziky by mohla znít například takto: Coriolisova síla je síla, která působí na libovolný hmotný předmět či objekt, který se pohybuje rychlostí \mathbf{v} v soustavě rotující kolem osy rotace úhlovou rychlostí $\boldsymbol{\omega}$ ($\mathbf{F}_C = 2 \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega}$, kde \times je vektorový součin).

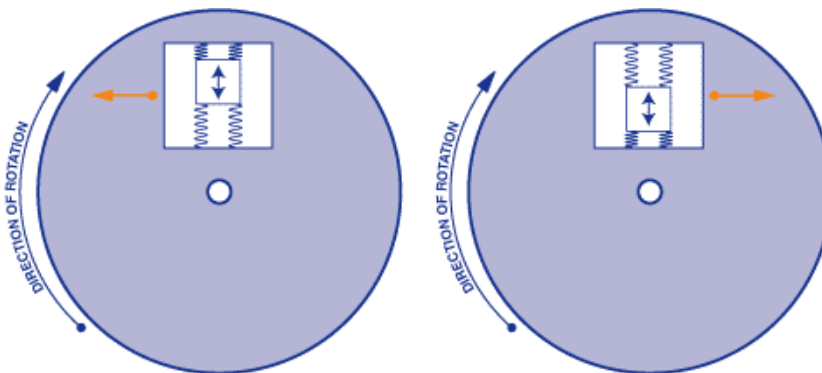
[22]



Obr.10 Velikost Coriolisovy síly na osobu pohybující se k okraji kruhu

Jednodušeji to lze vysvětlit například dle obrázku 10, kde se postava pohybuje určitou rychlostí \mathbf{v} od středu rotujícího kruhu k jeho okraji. Přitom na ni působí vzrůstající virtuální síla (Coriolisova síla), která má maximální velikost u kraje kotouče. Stejná síla tak působí na všechny hmotné objekty na naší planetě, protože ta je právě takovou soustavou otáčející se pravidelně kolem

své osy. Podle vzorce pak na severní polokouli působí síla (stáčí objekt) ve směru hodinových ručiček, na jižní pak v protisměru. Na rovníku je síla nulová, na pólech maximální. Praktický důsledek lze například pozorovat v točení vírů při odtoku vody z umyvadla nebo u tornáda, vymleté pravé břehy řek nebo více opotřebované pravé kolejnice na jednosměrných železničních tratích.[22]

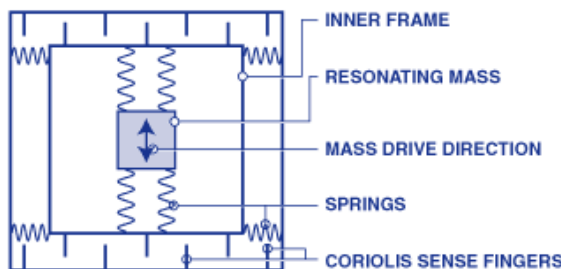


Obr. 11 Působení Coriolisovy síly na mechanický gyroskop

Stejného účinku se pak využívá i v mechanických gyroskopech. Zde při pohybu objektu, upevněného na pružinách uvnitř rámu, směrem ven (k okraji rotujícího kotouče) na něj působí Coriolisova síla směrem doleva, při opačném směru pohybu objektu pak doprava. Protože velikost a směr této síly je úměrný i velikosti úhlové rychlosti a směru otáčení, lze tento systém s úspěchem využít pro jejich měření. [22]

Příklad provedení MEMS snímače

Při praktickém použití Coriolisovy síly v integrovaných gyroskopech se využívá technologie MEMS, kde se vytváří na chipu spolu s elektrickými obvody i mechanické mikrosoučásti, které tvoří samotný snímač. Různí výrobci sice používají trochu odlišné struktury, ale základní princip je vždy podobný a dá se znázornit obrázkem 4. [22]



Obr. 12 Zjednodušená struktura snímače MEMS gyroskopu

Základ tvoří rezonující struktura (resonating mass) upevněná v rámu (inner frame), která se vlivem vlastní mechanické rezonance, zde reprezentované pružinami (springs), pohybuje v uvedeném směru (Mass drive direction) - kolmém na směr otáčení (viz. obrázek 5.). Přitom vzniká Coriolisova síla úměrná úhlové rychlosti otáčení, která stlačí vnější pružiny rámu a způsobí

vzájemný posuv měřících plošek (Coriolis sense fingers) fungující jako elektrody vzduchových kondenzátorů. Výstup je tedy změna kapacity úměrná úhlové rychlosti otáčení °/s. [22]

5.3 Magnetický snímač

5.3.1 Principy magnetických snímačů

Senzorový snímač s uzavřeným magnetickým obvodem, využívající změny permeability feromagnetika při změně měřené neelektrické veličiny. V důsledku této změny se mění impedance magnetického obvodu a indukčnost, nebo vzájemná indukčnost jedné nebo několika cívek. Z hlediska vstupní veličiny používáme magnetické snímače pro měření mechanického napětí, tlakových a tahových sil, moment kroucení, teploty apod. [5]

Magnetické senzory jsou založeny na principech známých z měření magnetického pole. Zdrojem magnetického pole bývá trvalý magnet, který je umístěn na snímaném předmětu. Méně častou variantou je případ, kdy je magnet součástí senzoru. Snímaný předmět pak musí být feromagnetický. [6]

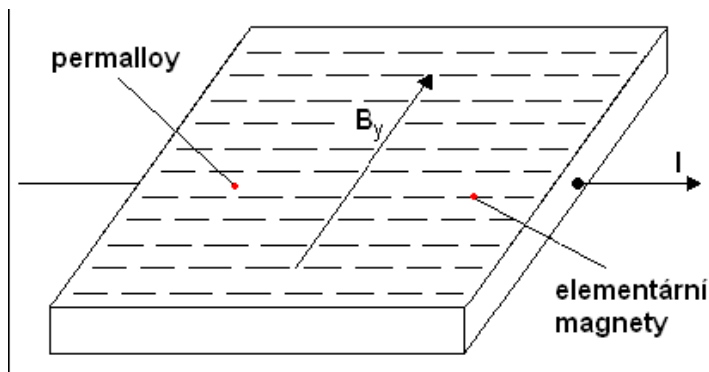
V našem případě budeme využívat principu měření siločar vydávaných magnetem. Jako magnet budeme brát v úvahu jádro země a měřením silového pole tak získáme orientaci v prostoru. Zjistíme, zdali objekt míří na sever, jih, východ či západ. Jde tedy o tzv. „magnetický kompas“.

5.3.2 Druhy magnetických snímačů

Magnetorezistivní sondy

Rezistory závislé na magnetickém poli dokážou totéž co Hallovy sondy. Nejčastější použití jsou senzory přiblížení. Nejvíce používaným materiálem je polovodičová destička, často InSb, ve kterém jsou příměsi NiSb. Bez magnetického pole prochází proud polovodičem nejkratší cestou. Když začne působit magnetické pole, proud se stranově vychýlí, musí urazit delší dráhu, a destička vykáže větší odpor.

Magnetorezistory mají, na rozdíl od Hallova čidla, pouze dva vývody. Jsou to odpory závislé na velikosti vnějšího magnetického pole. Existuje však i provedení, kdy je destička vyrobena z feromagnetického materiálu – permalloy. Tento materiál je během výroby tak zpracován, že elementární magnety mají jednu přednostní orientaci v podélném směru pásu.



Obr. 13 Magnetorezistivní čidlo z materiálu permalloy

Bez magnetického pole je odpor páska nejmenší. Jakmile se indukce pole začne zvětšovat, bude odpor klesat. Díky rozměrům a konstrukci páska je tato závislost v určitém rozsahu přijatelně lineární.

Magnetorezistory jsou často používány v zapojení do můstku. Uspořádání rezistorů, je takové, aby v jedné větvi byly zapojeny proti sobě, tj. aby změnou magnetického pole jeden z rezistorů zvětšil hodnotu odporu, zatímco druhý ji zmenšil. Výsledné napětí je pak:

$$U_{výst} = \frac{-U_N}{R} \cdot \Delta R \quad (8)$$

kde ΔR je změna odporu vlivem magnetického pole.

Použití:

- výroba kompasů
- měření magnetického proudu
- detekce projíždějících vozidel v dopravě
- měření magnetických polí

Senzory s Hallovou sondou

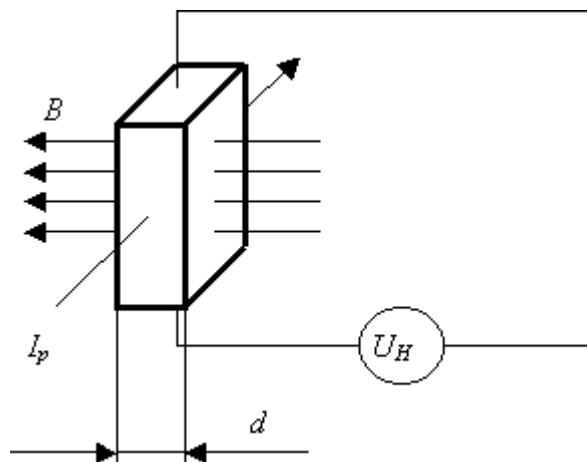
Hallův jev či Hallův efekt, tedy vliv magnetického pole na směr toku elektrického proudu, byl objeven v roce 1879 Edwinem Hallem. Hallův jev spočívá ve vychylování směru toku el. proudu v závislosti na velikosti indukce magnetického pole B , které je kolmé na polovodičovou (křemíkovou) tenkou destičku, tzv. Hallův element. Výsledkem je generování rozdílového napětí na bočních stranách elementu úměrné právě velikosti působícího magnetického pole či jeho kolmosti vzhledem k destičce.

Pokud na polovodič, kterým prochází elektrický proud I_p , působí příčné magnetické pole s indukcí B , změříme na protějších stranách hranolu Hallovo napětí U_H , pro něž platí :

$$U_H = R_H \cdot \frac{I_p \cdot B}{d} \quad (9)$$

$$R_H = \frac{3}{8} \cdot \frac{1}{n \cdot q} \quad (10)$$

kde d je tloušťka polovodiče
 R_H je Hallova konstanta
 N je hustota nosičů náboje
 q elementární náboj
 B magnetická indukce



Obr. 14 Princip Hallova snímače

Pohybujeme-li mechanicky Hallovým článkem v nehomogenním magnetickém poli, Hallovo napětí se mění v závislosti na změně polohy tohoto článku. Jestliže měníme polohu Hallova článku v nehomogenním magnetickém poli ve směru osy x , pak Hallovo napětí na výstupu je funkcí polohy dle vztahu:

$$U_H = k \cdot f(x) \quad (11)$$

Pro optimální provedení by funkce $f_1(B)$, $f_2(x)$ a $f_3(x)$ měly být lineární. Gradient magnetického pole by měl být co největší a pokud možno konstantní. Toho lze dosáhnout pomocí magnetických obvodů se speciálně tvarovanými nástavci.

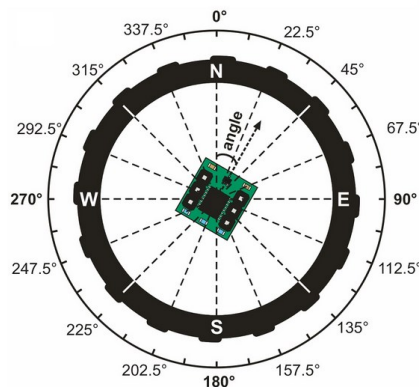
Snímače se konstruují jak jednoduché, tak v diferenčním uspořádání s otevřeným magnetickým obvodem a feritovými magnety. Jako materiál polovodiče se používají např. Ge, Si, In, As a další.

Nevýhodou těchto snímačů je teplotní závislost indukce magnetického obvodu a také měrného odporu a Hallova součinitele polovodiče. Hallova jevu se nyní využívá i v integrovaných senzorech. [2]

5.3.3 Magnetický snímač MEMS

Tyto senzory jsou určeny ke snímání jak lokálního, tak globálního magnetického pole. MEMS technologie umožňuje integraci sensorového snímače i příslušné vyhodnocovací techniky do jednoho malého čipu.

Magnetometr měří v jedné, dvou nebo třech osách složku lokálního magnetického pole, které je tvořeno součtem geomagnetického pole země a pole tvořeného okolím. Často se používají v kombinaci s tříosými akcelerometry pro zajištění přesné informace o daném směru, nezávisle na orientaci.



Obr. 15 Magnetický kompas pro určování orientace.

Jde o miniaturní senzory s rozměrem okolo 3mm x 3mm a mimořádně nízkým proudovým příkonem okolo 25 uA. Uplatnění si tyto senzory našly zejména v mobilních technologiích, tabletech, PND (Personal Navigation Device), laptotech i dalších přenosných elektronických systémech.

V mé práci bude magnetický senzor sloužit jako doplňkový senzor ke kompenzaci driftu gyroskopu. Ten vychází z matematického zpracování signálu, který nám gyroskop poskytne. V praxi totiž čidlo nedosahuje nulové hodnoty úhlu otočení. Skutečná hodnota kmitá okolo nulové hodnoty. Při integraci pak dochází k tomu, že se v každém kroku celá soustava, kterou zobrazujeme mírně otáčí i když je v klidu.

6. Komunikace

Sériová komunikační rozhraní se v mikropočítačové technice používají ke dvěma základním účelům. Ke komunikaci mezi jednotlivými mikropočítačovými moduly nebo ke komunikaci mezi integrovanými obvody.

Ke komunikaci mezi jednotlivými mikropočítačovými moduly. Typická délka vedení je zde v řádu jednotek až stovek metrů, takže fyzická vrstva v různé míře řeší i problémy odolnosti proti rušení atd. Kromě známých a rozšířených rozhraní (RS232, RS485) se používají i specializovaná rozhraní resp. sběrnice (CAN, TTP). Při rostoucích nárocích na přenosovou kapacitu se pro toto propojení často používá i Ethernet.

Ke komunikaci mezi integrovanými obvody, případně ke komunikaci mezi mikropočítačovými moduly na krátkou vzdálenost. Typická délka vedení zde nepřesahuje jednotky metrů. Často používaná rozhraní pro komunikaci mezi jednotlivými IO jsou rozhraní Microwire, SPI a I2C. Tato rozhraní budou spolu s rozhraním CAN předmětem následujícího popisu.

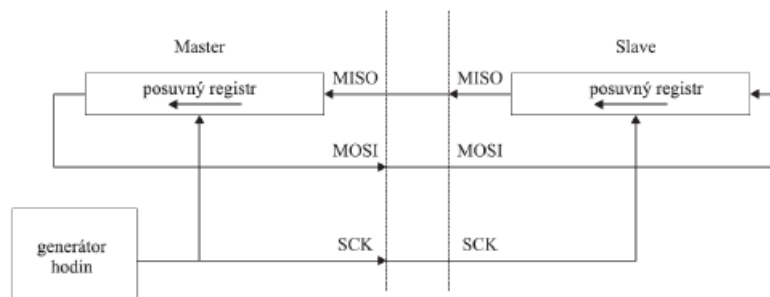
Důvodem používání sériové komunikace mezi jednotlivými obvody je především zmenšení počtu vývodů jejich pouzder. Při použití sériových pamětí se zredukuje množství adresních, datových a řídicích vývodů obvyklé (nikoliv sériové) paměti na tři až čtyři vývody. To umožňuje zmenšit rozměry pouzdra i spojové desky, protože odpadá prostorově náročné propojování velkým počtem vodičů.

Další výhodou může v některých případech být možnost připojení obvodů se sériovým rozhraním i k mikrokontrolérům bez vyvedené vnitřní sběrnice, v krajním případě i bez příslušného řadiče sériového rozhraní. Funkce řadiče je potom realizována programově s využitím několika vývodů vhodného portu mikrokontroléru. Nelze tak většinou dosáhnout plné rychlosti daného rozhraní, ale tato skutečnost nemusí být v některých případech na závadu. [3]

6.1 Rozhraní SPI

Rozhraní SPI je určeno především pro připojení vnějších pamětí, A/D převodníků a dalších obvodů k mikrokontroléru, případně pro vzájemnou komunikaci mezi mikrokontroléry. U některých mikrokontrolérů je SPI využíváno i pro programování jejich vnitřní paměti Flash.

Přenosy na sběrnici SPI probíhají vždy mezi obvodem Master a některým z obvodů Slave. Oba obvody obsahují posuvné registry, které jsou v okamžiku komunikace propojeny tak, jak je schematicky naznačeno na obr. 16.

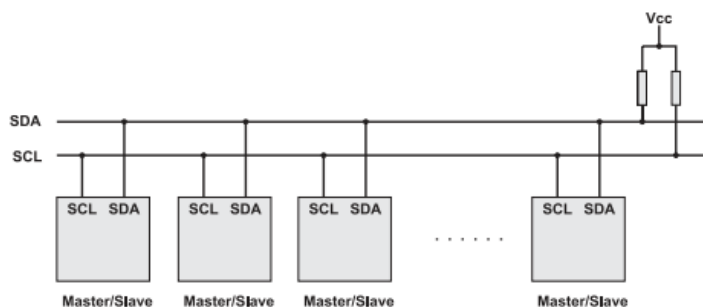


Obr. 16 Zapojení Maste-Slave.

Je-li rozhraní SPI realizováno programově, musí být okamžiky změny úrovně datových a hodinových signálů zvoleny tak, aby přijímající obvod vzorkoval ustálená data. Napětové úrovně jednotlivých signálů rozhraní SPI jsou dané použitou technologií. Maximální frekvence hodinového signálu je 2 MHz. [3]

6.2 Rozhraní I2C

Na rozdíl od SPI a Microwire je I2C sběrnice typu multimaster. Řeší proto i arbitraci pro přístup na sběrnici a má zabudovaný mechanismus adresování jednotlivých připojených stanic nebo integrovaných obvodů. Základní koncepce sběrnice I2C je na obr. 16. Každá stanice má určenou svou vlastní adresu o délce 7 nebo 10 bitů, která slouží k jejímu výběru i k arbitraci. [3]



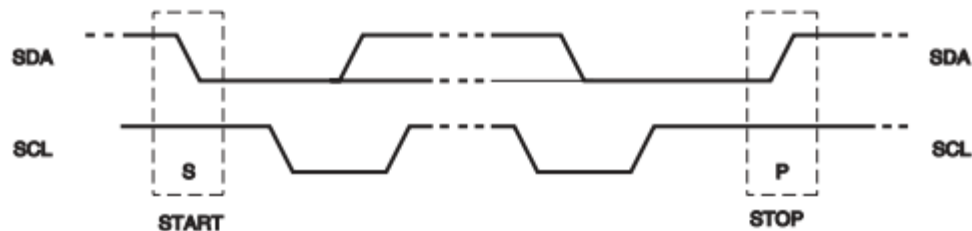
Obr. 17 Koncepce sběrnice I2C.

6.2.1 Fyzická vrstva

Jednotlivé stanice rozhraní I2C jsou propojeny jedním datovým vodičem (SDA) a jedním hodinovým vodičem (SCL). Z elektrického hlediska jsou oba vodiče typu otevřený kolektor. Jejich maximální délka je dána jejich nejvyšší přípustnou kapacitou 400 pF. [3]

V klidovém stavu (volná sběrnice) jsou oba vodiče v úrovni H. Při probíhající přenosu jsou na SDA vysílány jednotlivé datové bity přičemž platí pravidlo, že logická úroveň na SDA se

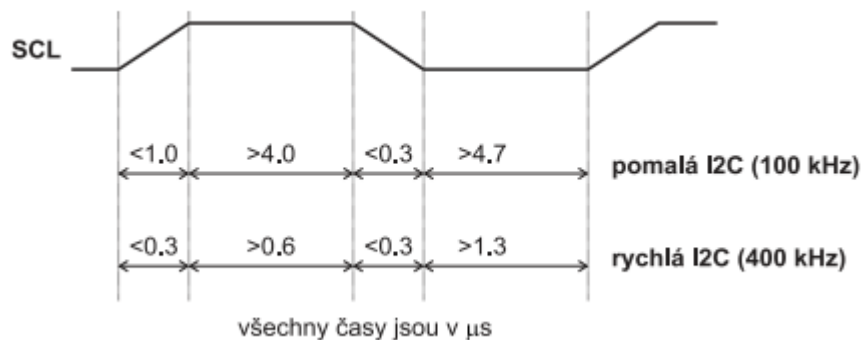
smí měnit pouze je-li SCL v úrovni L. Toto pravidlo je porušeno ve dvou speciálních případech – vysílání podmínek START a STOP, které se používají k zahájení arbitrace a k ukončení přenosu viz obr. 17. [3]



Obr. 18 Podmínky start a stop.

Maximální přípustná frekvence signálu SCL je podle verze I2C 100 kHz nebo 400 kHz. Proobě frekvence je specifikována minimální povolená doba setrvání SCL v úrovni L i H (viz Obr. 10). Při arbitraci i při přenosu dat si jednotlivé stanice synchronizují generátory hodin tak, že trvání úrovně H na SCL je odměřováno vnitřním časovačem každé stanice až od okamžiku, kdy SCL skutečně úrovně H dosáhne (protože je SCL typu otevřený kolektor, může být v úrovni L držen i v situaci kdy se daná stanice snaží nastavit úroveň H). Podobně je doba trvání úrovně L na SCL odměřována od sestupné hrany (viz obr. 19). [3]

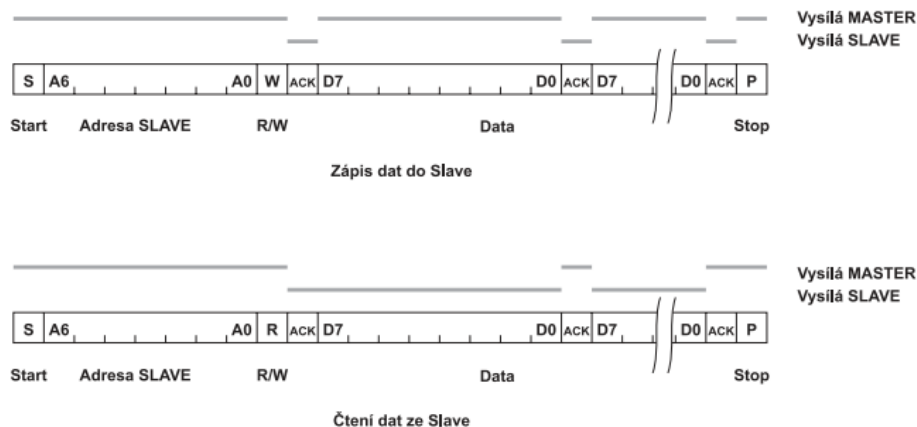
Tento mechanismus umožňuje některé ze stanic zpomalit přenos: pomalá stanice může podržet po určitou dobu signál SCL v úrovni L a tím zabránit vysílající stanici ve vyslání dalšího bitu. [3]



Obr. 19 Časování signálu SCL na I2C.

6.2.2 Linková vrstva

Formát rámce se sedmibitovou adresou při přenosu na I2C je na obr. 20. Každému přenosu předchází vyslání podmínky START. Potom je vysílána 7bitová adresa příjemce a jeden bit R/W, který indikuje požadovanou operaci (čtení/zápis). Další bit ACK je vysílán s úrovní H a je určen k potvrzení přijímací stanicí. Dále jsou přenášena data ve směru určeném předchozím bitem R/W. Každý byte je následován jedním bitem ACK. Po ukončení přenosu je vysílána podmínka STOP. [3]



Obr. 20 Formát rámců na sběrnici I2C.

6.2.3 Adresování

Každá stanice (v praxi např. každý integrovaný obvod) připojená na I2C má přidělenou 7bitovou adresu. Po zachycení podmínky START porovnávají všechny obvody svou adresu s adresou, která je vysílána na sběrnici. Zjistí-li některý z obvodů shodu, je vysílání určeno právě jemu a musí přijetí adresy potvrdit bitem ACK. Potom přijímá resp. Vysílá další data. [3]

V praxi je většinou několik adresních bitů jednotlivých obvodů určeno už při výrobě. Zbývající bity se volí pomocí příslušných vývodů daného obvodu, které se podle potřeby připojí na úroveň L nebo H. Několik adres je na I2C vyhrazeno pro speciální účely. Např. adresa 0000000 je určena pro vysílání „broadcast“, adresy 0000011, 00001XX a 11111XX jsou rezervovány pro další účely. Adresa 11110aa indikuje 10bitové adresování: aa zde označuje dva nejvyšší bity adresy stanice, zbývajících 8 bitů je vysíláno v následujícím bytu. [3]

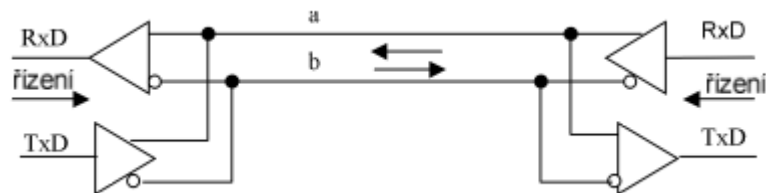
6.3 Linkový přenos dat

Pro přenos dat mezi zařízeními se často používá sériová komunikace. Zatímco snaha po zrychlení toku dat (například mezi jednotlivými obvody v jednom přístroji) vede k užívání synchronního přenosu (data, synchronizační impulsy, rámec), pro malé objemy dat a větší vzdálenosti je naopak výhodná asynchronní komunikace. Pojmem "malý objem dat" je zde myšlena

rychlost v řádech 1 až 100 kbitů za sekundu. Asynchronní komunikace minimalizuje počet vodičů potřebných k přenosu, čímž se zlevňuje komunikační vedení. [4]

Komunikace po lince RS232 je nejběžnější, protože rozhraní RS232 má vyveden každý běžný počítač. Používá se pro připojení zařízení komunikujících maximální rychlostí 115.2 kBd na vzdálenost maximálně 15m. Kromě vodičů pro přenos dat - RxD a TxD obsahuje ještě další vodiče pro řízení toku dat. Tyto pomocné řídicí signály nejsou obsaženy v linkách typu RS422 ani RS485 a musí být nahrazeny komunikačním protokolem. Ani mnohá zařízení komunikující po lince RS232 tyto signály nevyužívají. [4]

Zatímco linka RS232 pracuje s úrovněmi typicky -12V a +12V, úrovně linky RS485 nebo RS422 jsou menší, typický rozdíl mezi vodiči je 2V. Aby přijímač mohl pracovat diferencially, nesmí být rozdíl mezi zemí vysílače a zemí přijímače větší než 7V. V opačném případě se vstupy přijímače zahltí a dojde k přerušení komunikace. Proto je nezbytné používat linky RS485 a RS422 vždy s galvanickým oddělením, jinak se jejich výhody ztratí. [4]



Obr. 21 Provedení nevětvené linky RS 485

Linka RS485 používá jeden pár vodičů pro oba směry toku dat. Je tedy třeba směr komunikace přepínat a to může být problém zvláště v případech, kdy s touto možností software nepočítá. Přepínání směru komunikace jistě bude vyřešeno u zařízení, které obsahuje už standardně linku RS485. Pokud však používáme zařízení s vyvedenou linkou RS232 (například počítač PC) a následným převodníkem RS232/RS485, je třeba přepínání směru zajistit. [4]

Linky RS485 nebo RS422 lze doporučit pro nejruznější přenosy dat v průmyslovém prostředí. Při správném provedení je spolehlivost přenosu v provedení s linkou RS232 vysoká. [4]

6.4 Bezdrátová komunikace

Bezdrátová komunikace spočívá ve spojení dvou subjektů jiným způsobem, než mechanicky (kabelem). Podle typu nosného média můžeme rozlišovat mezi komunikací optickou (světlo), rádiovou a sonickou (zvuk). Vzdálenost mezi komunikujícími body může být od několika metrů (infračervený ovladač televize) po stovky kilometrů (komunikace družic v kosmickém prostoru). Něktými konkrétními druhy bezdrátové komunikace jsou Wi-Fi, Bluetooth, IrDA,

GSM, či ZigBee. V následující kapitole sporadicky popíšeme některé druhy bezdrátové komunikace a vybereme nejvhodnější způsob přenosu dat pro náš systém.

Wi-Fi

Wi-Fi označení pro několik standardů IEEE 802.11 popisujících bezdrátovou komunikaci v počítačových sítích. Původním cílem Wi-Fi sítí bylo zajišťovat vzájemné bezdrátové propojení přenosných zařízení a dále jejich připojování na lokální síť. S postupem času začala být využívána i k bezdrátovému připojení do sítě Internet v rámci rozsáhlejších lokalit a tzv. hotspotů. Wi-Fi zařízení jsou dnes prakticky ve všech přenosných počítačích a i v mobilních telefonech. Úspěch Wi-Fi přineslo využívání bezlicenčního pásma, což má negativní důsledky ve formě silného zarušení příslušného frekvenčního spektra a dále častých bezpečnostních incidentů.

Bezdrátové sítě standardu IEEE 802.11 pracují v bezlicenčním ISM pásmu 2,4 GHz. Kromě tohoto pásma se pro WLAN sítě vyhrazuje ještě pásmo 5GHz. To používá zatím technologie 802.11a (v Evropě nevyhovující) a 802.11n která již evropským předpisům vyhovuje. V tabulce 2 jsou uvedeny některé standardy IEEE 802.11. [14]

Tab. 2 Přehled standardů IEEE 802.11. [13]

Standard	Pásmo [GHz]	Maximální rychlost [Mbit/s]	Fyzická vrstva
původní IEEE 802.11	2,4	2	DSSS
IEEE 802.11a	5	54	OFDM
IEEE 802.11b	2,4	11	DSSS
IEEE 802.11g	2,4	54	OFDM
IEEE 802.11n	2,4 nebo 5	600*	OFDM, MIMO

Bluetooth

Technologie Bluetooth je standart pro bezdrátové připojení různých zařízení na krátké vzdálenost. Zrod technologie Bluetooth se datuje do roku 1994, kdy se jí začala zabývat firma Ericsson. Samotný standard však vznikl až v roce 1998. Umožňuje jednoduché a stále propojení mezi mnoha rozdílnými komunikačními zařízeními. Vzhledem k jeho vlastnostem proniká tento standard i do průmyslových technologií a zdravotnictví. Pro tuto technologii je typická malá velikost zařízení, nízká pořizovací cena, malé nároky na napájení a jednoduché uživatelské rozhraní. [14]

Bluetooth se vyskytuje v několika vývojových verzích, z nichž v současnosti nejvíce využívaná nese označení 2.0 a je implementována ve většině Bluetooth zařízení jako jsou např. mobilní telefony, notebooky, ale i například LCD, nebo plasmová televize. V současné době je nově

vyvinuto rozhraní bluetooth 4.0, dosah až 100 metrů, menší spotřeba elektrické energie a podpora šifrování. Rozhraní se používá převážně pro připojení příslušenství (headsetů) a přenosu dat, ale také se dá využít např. pro propojení PC s mobilem a následný přístup na internet přes mobilní telefon.

Dle dosahů a výkonnosti se dělí do tří tříd:

- Třída 1. – max výkon 100 mW – dosah 100 metrů
- Třída 2. – max výkon 2,5 mW – dosah 10 metrů
- Třída 3. – max výkon 1 mW – dosah 1 metrů

Bluetooth pracuje ve frekvenčním pásmu ISM. Toto pásmo je volně dostupné ve většině států světa. Je určené pro všeobecné využívání v průmyslu, vědě i lékařství. Frekvence na kterých Bluetooth pracuje se pohybují v rozmezí 2 400 až 2 483,5 MHz. Šířka jednotlivých pásem je 1MHz. V některých zemích je zredukován počet frekvenčních pozic na 23 (tzn. 23 MHz rozsah ISM pásma). Podrobněji se budeme věnovat Bluetooth komunikaci v následující kapitole.

ZigBee

Komunikační technologie schválená IEEE jako IEEE 802.15.4. Pro její další rozvoj byla v roce 2002 založena ZigBee Alliance, která sdružuje přes 150 nadnárodních firem a korporací.

ZigBee je jednoduchý bezdrátový komunikační standard, který umožňuje vzájemnou komunikaci mnoha zařízení na vzdálenost desítek metrů. S podporou síťové topologie typu hvězda (star), strom (tree), síť (mesh) a díky nízkým nárokům na hardware a nízké spotřebě, najde uplatnění v oblasti řízení budov, spotřební elektroniky, zdravotnictví a průmyslu, například v podobě bateriově napájených bezdrátových senzorů.

ZigBee komunikace se uskutečňuje na jednom ze tří bezlicenčních rádiových pásem s daným počtem využitelných kanálů.

Tab. 3 Přehled bezlicenčních pásem a přenosových rychlostí.

Kontinent	šířka pásma	počet kanálů	přenos. Rychlost
Evropa	868 až 868,6 MHz	1	20kbit/s
Severní Amerika, Austrálie	902 až 928 MHz	10	40kbit/s
Celosvětově	2401 až 2483,5 MHz	16	250kbit/s

6.5 Bluetooth

Bluetooth je otevřený technologický standard umožňující bezdrátovou hlasovou a datovou komunikaci na krátké vzdálenosti. Jedná se o rádiový přenos informace v nelicencovaném pásmu. Počátky výzkumu se datují kolem roku 1994 ve Švédském Ericsonu. Zajímavý je původ názvu Bluetooth (modrý zub). Je odvozen od jména Dánského krále Heralda Blatanda (940 po Kristu), který sjednotil skandinávské země a přinesl křesťanství do Skandinávie. Blatand se dá přeložit jako modrý zub a Bluetooth technologie si klade za cíl sjednotit komunikaci mezi zařízeními a tedy ukazuje jistou analogii s tímto vikinským panovníkem.

V červenci roku 1999 byla zveřejněna první specifikace standardu Bluetooth (Bluetooth 1.0). Poté specifikace Bluetooth verze 1.1. Dále verze Bluetooth 1.2, která přinesla přenosové rychlosti 2 až 3 Mb/s, a dále specifikace Bluetooth 2.0, která je v současné době nejpoužívanější verzí. Nabízí přenosové rychlosti okolo 3Mb/s.

Dalšími vývojovými verzemi jsou 3.0 a nejnovější 4.0. Standard 3.0, zveřejněn v roce 2009 podpruje přenosové rychlosti až do 24 Mb/s. Uplatnění nachází zejména v mobilních telefonech které v dnešní době přenášejí velká množství dat. Rychlé přenášení a sdílení těchto

U nejnovější verze 4.0 zveřejněné rok po verzi 3.0 se výrobci soustředili spíše na maximální snížení energetických nároků. S přenosovou rychlostí okolo 1Mb/s může bateriově napájený modul přenášet data i po několik měsíců bez dobíjení.

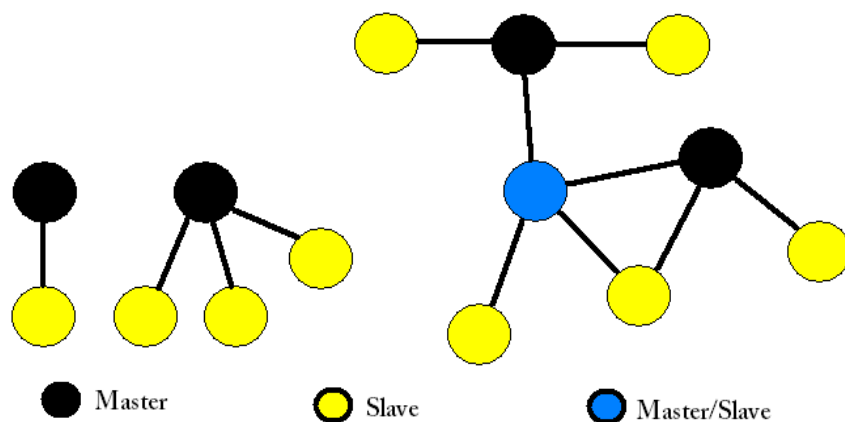
Přenosové rychlosti standardů:

Bluetooth 1.2 - 1Mb/s
Bluetooth 2.0 + EDR - 3Mb/s
Bluetooth 3.0 + HS - 24Mb/s
Bluetooth 4.0 - 1Mb/s

Topologie Bluetooth umožňuje komunikaci mezi dvěma zařízeními mezi sebou (*point to point*), nebo jednoho zařízení s několika dalšími (*point to multipoint*).

Pokud máme soustavu dvou a více buněk nazývá se *piconet*. U tohoto způsobu komunikace se pouze jedna jednotka chová jako řídící (*master*) a ostatní jako podřízené (*slave*), těch může být až sedm. Další možností Bluetooth sítě je nastavené překrývání se jednotlivých piconet buněk. Takové uspořádání se pak nazývá *scatternet*. Spojení piconet buňky s další je realizováno prostřednictvím buňky, která se chová v jedné síti jako slave a vzhledem k druhé jako master.

Komunikace je řízena masterem prostřednictvím výzvy, slave může komunikovat pouze prostřednictvím řídící jednotky. Bluetooth využívá stejných kmitočtů pro vysílání a příjem s využitím TDD, které umožňuje aby jedna stanice byla zároveň podřízenou i hlavní stanicí.



Obr. 22 Topologie sítě Bluetooth, zleva, piconet – point to point, piconet – point to multipoint, scatternet – více master jednotek.

Bluetooth moduly používají k přenosu informace GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*), modulaci, která je charakteristická tím, že přiřazuje binární jedničce kladnou frekvenční výchylku a binární nule zápornou frekvenční výchylku.

7. Návrh zařízení

Senzorový systém pro snímání náklonu a zrychlení bude společně s dalšími senzory nainstalován do chrániče, který bude mít řidič umístěn na zádech. Kromě mé práce zde bude umístěn také systém pro snímání teploty a EKG. Chránič nám poskytne dostatek prostoru pro umístění desek plošných spojů a natažení potřebné kabeláže včetně umístění napájení, budeme-li chtít aby byl systém kompletně nezávislý.



Obr. 23 Návrh měřicího řetězce

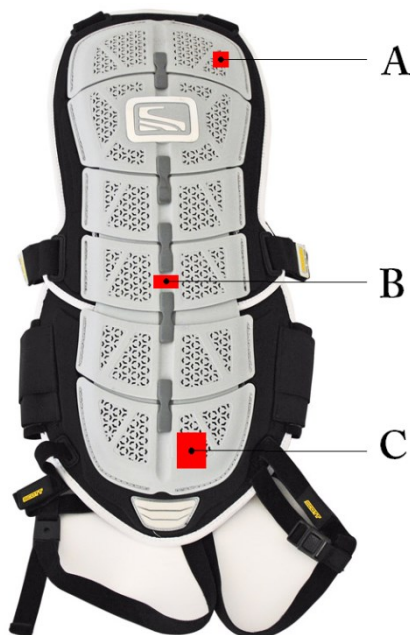
Inerciální systém využívající akcelerometru, gyroskopu a magnetometru bude podávat data, která budou zpracovávána po přenosu do nadřazeného systému. Pro širší využití mohou být data přenášena přes řídící jednotku vozidla a ukládána do vzdálené databáze odkud budou přístupná pro další zpracování a vyhodnocování.

Důležitou součástí návrhu je umístění jednotlivých částí měřicího řetězce v chrániči páteře, tak, aby plnily svou funkci co možná nejlépe.

Pro umístění senzorů jsem zvolil spodní oblast hrudní páteře. V místě těžiště trupu. Můžeme tak objektivně vyhodnocovat síly působící na trup jako na celek. Napájení bude uloženo ve spodní části chrániče, jelikož je tato oblast nevýznamná pro umístění senzorů a poskytuje dostatek prostoru, který pro napájení potřebujeme. Zároveň prakticky vyváží těžiště celého chrániče.

Pro přenos dat jsme zvolili Bluetooth komunikaci umístěnou na vršku chrániče z důvodu lepšího přenosu (tlumení sedačky). Data budou posílána ze senzorů do Bluetooth pomocí sériové linky RS485. V případě nefunkčnosti Bluetooth bude k dispozici port pro připojení sériové komunikace s počítačem.

Rozložení podle obr. 24. V bodě A je umístěna anténa s bluetooth modulem pro online komunikaci. B je místem uložení senzorů s microkontrolerem a v oblasti označené jako C bude uloženo napájení celé soustavy.



Obr. 24 Umístění jednotlivých částí v chrániči páteře

7.1 Výběr vhodných součástek

Výběr součástek probíhal na základě jejich fyzické dostupnosti, ale také s ohledem na cenu a rozsah měřitelnosti.

Pro měření velikosti výsledného zrychlení je nutno teoreticky spočítat reálné hodnoty, kterým bude v praxi senzor vystaven. V následujících tabulkách jsou uvedeny přibližné maximální hodnoty zrychlení u různých typů použití.

U osobních automobilů dosahují hodnoty dopředného zrychlení maximálně $5,56 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ tj. 0,57 g. Pro závodní automobily jsou tato zrychlení větší, $9,26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 0,94 g. Poslední řádek tabulky patří hodnotě kterou mohou dosáhnout jen speciálně upravená auta např. při závodech „dragsterů“. Rekordního zrychlením při těchto závodech dosáhla v roce 1977 Kitty O’Neilová která se svým vozem dosáhla rychlosti 628.85 km/h za 3,72 s.

Tab. 4 Výpočet zrychlení z 0 km/h na 100 km/h pro jednotlivé časy.

čas (s)	zrychlení ($m * s^{-2}$)	zrychlení (g)
15	1,85	0,19
10	2,78	0,28
5	5,56	0,57
3	9,26	0,94
1	27,78	2,83

Jelikož budeme měřit výsledné zrychlení, které se bude skládat s informací z tříosého akcelerometru je nutné vzít v potaz také zrychlení, která budou působit na řidiče při průjezdu zatáčkami (osa y) a zrychlení které bude působit ve směru gravitačního zrychlení. V následující tabulce jsou uvedeny maximální hodnoty zrychlení při akceleraci, brzdění a průjezdu zatáčkou pro různé druhy motorových vozidel.

Tab. 5 Maximální hodnoty jednotlivých zrychlení

	max. zrychlení	max. zpomalení	max. odstředivá síla
Automobil	cca 0,94 g	cca 1,2 g	cca 2 g
Formule	až 2,8 g	až 5,6 g	až 6 g
Motorka	cca 1 g	cca 1.2 g	cca 3 g

Z uvedených hodnot je patrné, že pro naše účely by stačil akcelerometr s rozsahem měřitelnosti $\pm 2g$, pokud by jsme měřili pouze lineární zrychlení. Nicméně bude senzor vystaven vibracím působícím na trup řidiče prostřednictvím sedačky kde v nárazech mohou hodnoty zrychlení dosáhnout až $\pm 4g$. Z tohoto důvodu by náš senzor měl mít rozsah alespoň $\pm 6g$.

Pro přesnou navigaci budeme používat 3-osé magnetometry. Ze senzorů dostupných na trhu se mi podařilo najít pouze dva které by vyhovovaly mým požadavkům.

Tab. 6 Vybrané typy použitelných magnetometrů

Označení	Citlivost	Komunikace	Napájení	Osy	Cena	Rozsah
MAG3110	0,1uT	I2C	1,95 V - 3,6 V	x y z	"---"	" \pm 1000uT"
HMC5883L-TR	0,2 uT	I2C	2,16 V - 3,6 V	x y z	46 Kč	"-800uT to +800uT"

Přes menší rozsah větší citlivost jsem z hlediska dostupnosti zvolil model HMC5883L-TR, protože bude plně vyhovovat mým požadavkům a je dostupnější

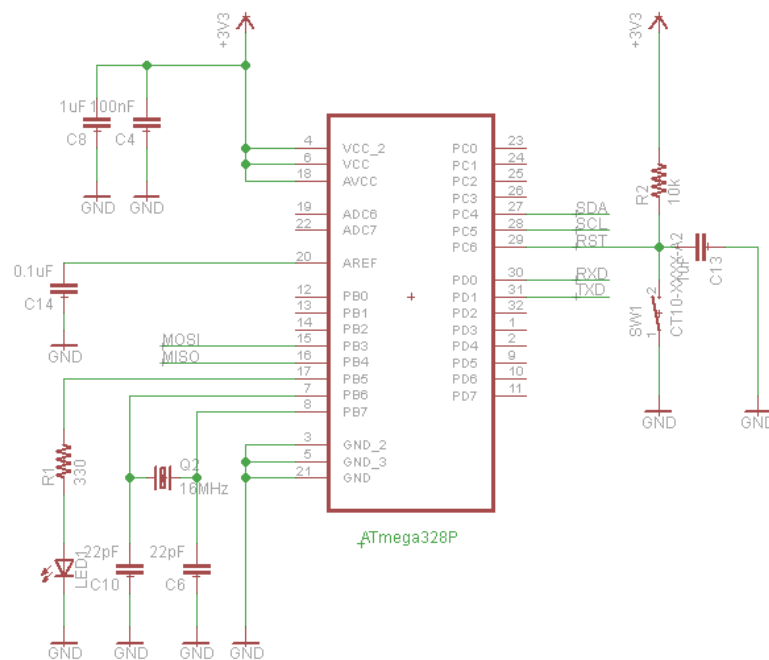
jsou napojeny na aritmetickou logickou jednotku (ALU). Obsahuje integrovaný AD převodník, programovou paměť až 32KB, EEPROM 1KB, interní oscilátor s možností připojení i externího krystalu. Podporovaná rozhraní pro komunikaci jsou pak I2C, SPI, UART.

Další parametry:

- RAM 2KB
- maximální rychlost CPU 20MHz
- 8 ADC výstupů
- mód šetření energií
- 23 programovatelných I/O linek
- teplotní rozsah -40°C až 85°C
- aktivní proudový odběr 0,2mA
- pasivní proudový odběr 0,1μA

7.3.1 Schéma zapojení MCU

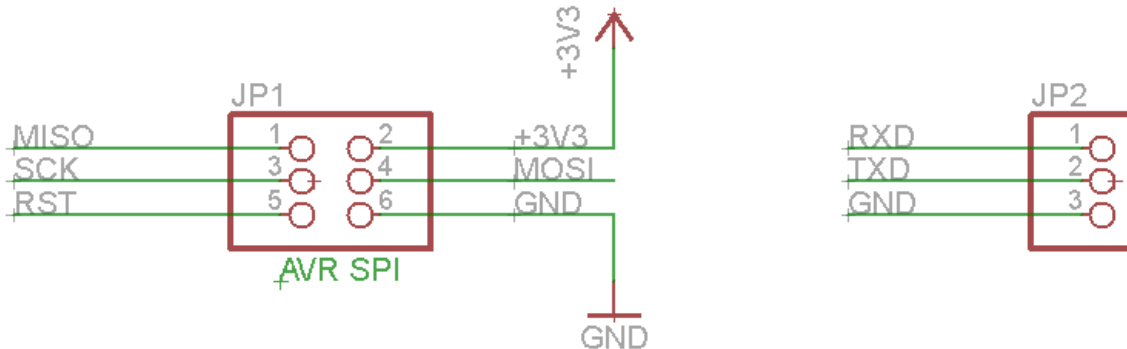
Pro řízení celého modulu byl vybrán procesor ATmega328P-AU. Pro taktování byl zvolen krystal s kmitočtem 16MHz. Programování mikrokontroleru probíhá přes sběrnici SPI reprezentované linkami MOSI, MISO, SCK, RST. Data získáváme přes sběrnici I2C ta je pro změnu připojena pomocí dvou linek SDA a SCL. A pro přenos dat do počítače po sériové lince jsou zde vyvedeny cesty z pinů s označení RxD a TxD.



Obr. 27 Schéma zapojení mikrokontroleru ATmega328P-AU

Kapacity C4, C8 a C14 jsou blokové kapacity, jejich funkcí v obvodu je omezit vliv parazitních indukčností. Dále slouží jako zdroj napětí při rychlých změnách odběru součástkou. Jejich umístění na DPS je doporučuje co nejbližší k součástce. Kapacity C10 a C6 slouží k oddělení signálu z oscilátoru od země, umístěny musí být co nejbližší ke krystalu.

Dalším schématem je zapojení programovacího konektoru (JP1) a konektoru pro zprostředkování komunikace (JP2) s počítačem v němž bude příslušný zobrazovací software.



Obr. 28 Schéma zapojení programovacích a datových pinů

7.4 Napájení soustavy

V neposlední řadě je třeba vyřešit ještě problém s napájením. Jelikož jsou součástky na hodnoty napájení poměrně citlivé, bylo třeba zvolit způsob regulace vstupního napětí.

Tab. 7 Přehled možných napájecích napětí součástek

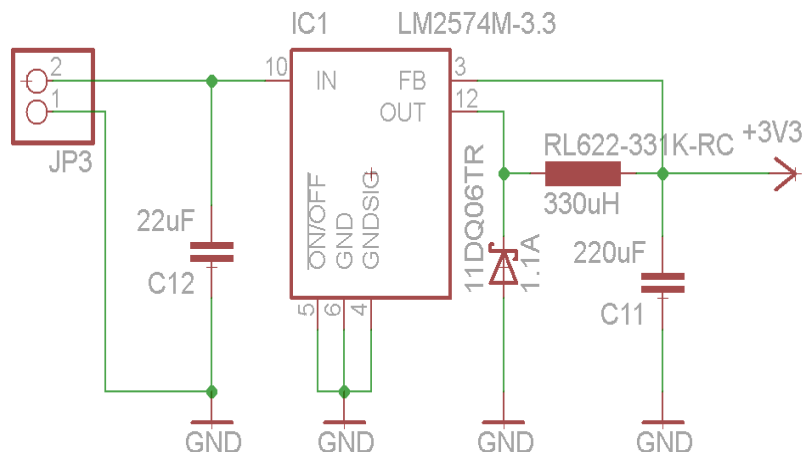
ATMEGA328P-AU	1,8 V - 5,5 V
LSM330DL	2,4 V - 3,6 V
HMC5883L	2,16 V - 3,6 V
Bluetooth	3 V - 6 V

S ohledem na senzory bylo stanoveno napájecí napětí 3,3 V, zprostředkované spínaným regulátorem napětí LM2574M-3,3.

Jedná se o SMD součástku, která poskytuje požadované výstupní napětí v rozsahu vstupního napětí od 4V do 40V, maximální proudové zatížení pak snese do 500mA, což bez větších problémů pokryje odběr zvolených součástek. Teplotní rozsah ve kterém pracuje je od -40°C do +125°C. Pracovní frekvence je 52kHz a přesnost výstupního napětí je +/- 4%.

7.4.1 Schéma zapojení napájecí soustavy

Na napájecí piny (JP3) je přivedeno napětí v rozsahu 4V - 40V. Kapacita C11 v obvodu umožňuje rychleji reagovat na změny odebíraného proudu.



Obr. 29 Schéma zapojení LM2574M pro regulaci vstupního napětí

7.5 Bluetooth modul

Pro bezdrátovou komunikaci zařízení s vnějším prostředím je využit bluetooth modul cB-OEMSPA311i-04 s vnitřní SMD anténou. Modul má lineární napájecí zdroj a pracuje v různých režimech jenž jsou signalizovány led diodami. Se svými malými rozměry pouze 16x36mm je ideální volbou pro implementaci do chrániče páteře. Proudový odběr činí pouhých 17mA a rozmezí pracovních teplot je od -30°C do 85°C. Nastavení konfigurace probíhá pomocí příkazů z mikrokontroleru.

7.5.1 Schéma zapojení pro komunikaci

Linky RxD a TxD jsou výstupy z mikrokontroleru a přenáší data do bluetooth modulu. Kapacity C18 a C7 jsou blokovací kapacity je nutné, aby byly konstrukčně umístěny co nejbližší vstupu napájení.



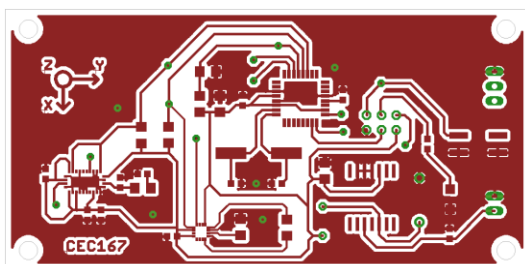
8. Realizace

Mým úkolem bylo vytvoření inerciálního systému pro snímání orientace objektu ve statických a dynamických podmínkách. Tento systém bude nezávislý na okolí a nebude třeba, aby přijímal vnější signály.

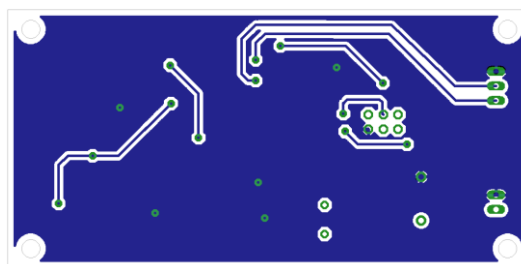
Vzhledem k tomu že systém bude v kontaktu se sedačkou, která přenáší na páteř řidiče vibrace, budeme schopni částečně vyhodnocovat i množství přenesených vibrací na páteř řidiče a stanovovat únavové hodnoty. Pro korekci driftu senzorů, zejména pak gyroskopu, bude využito magnetického kompasu.

8.1 Návrh DPS

Návrh desky plošných spojů byl realizován pomocí programu Eagle. Základním předpokladem bylo použití dvouvrstvé desky plošných spojů a to z důvodu menší technologické náročnosti a možnosti realizace v laboratořích CPIT. Jednotlivé součástky jsou na desce umístěny podle jejich funkcí. Horní strana DPS je stranou součástek i cest, bylo zvoleno pouze jednostranné umístění součástek z důvodu snadnější realizace, kdežto spodní strana DPS obsahuje pouze cesty.



Obr. 31 Horní strana DPS – strana cest

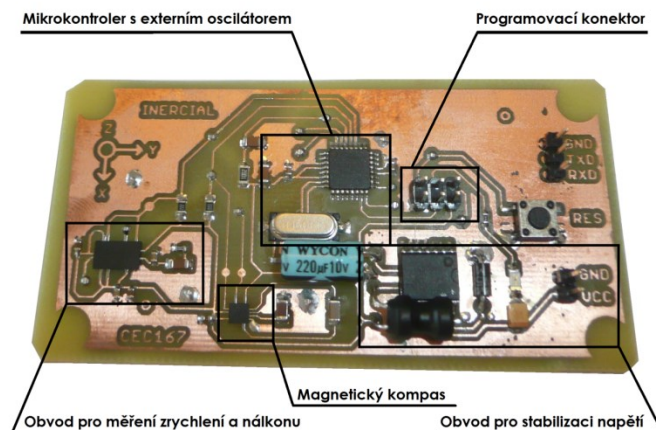


Obr. 32 Spodní strana DPS – strana cest

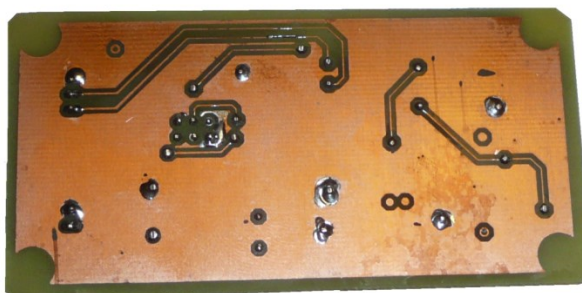
8.2 Osazení DPS

Osazení DPS probíhalo v laboratořích CPIT. Podoba finálního výrobku je zobrazena na obr. 33 a obr. 34. K napájení této soustavy slouží 4 AA baterie, které jsou umístěny mimo desku. Napájení je pak stabilizováno spínaným stabilizátorem napětí na hodnotu 3,3V, což je dostačující pro běh všech obvodů.

Deska má dva datové výstupy TXD a RXD pro komunikaci s ostatními zařízeními, kterými mohou být bluetooth nebo přímo PC.



Obr. 33 Horní strana prototypu



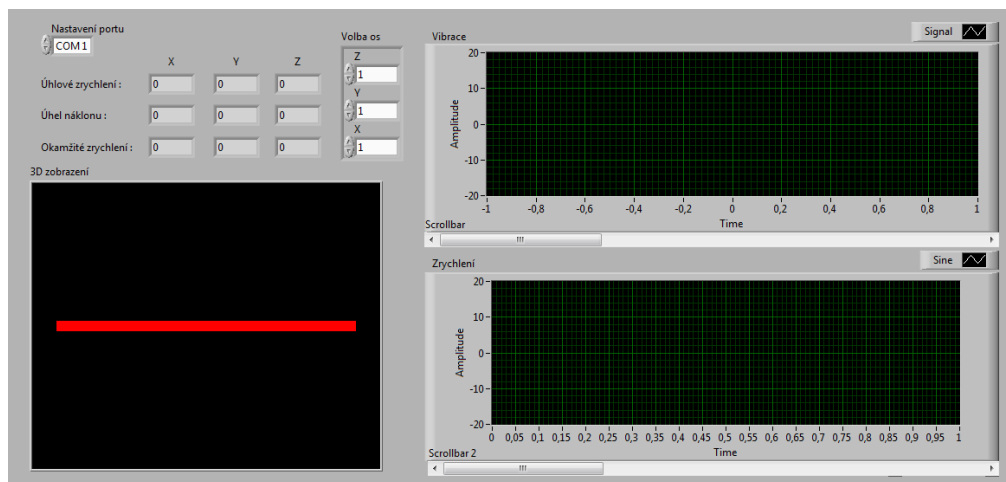
Obr. 34 Spodní strana prototypu

8.3 Vizualizační software

Data budou zpracovávána nadřazeným systémem. Pro další zpracování dat a následnou vizualizaci jsem zvolil programové prostředí LabWiev verze 8.5. Dalším zvažovaným programem byl Matlab, ten jsem ale vyloučil z důvodu slabé vizualizační schopnosti. Software komunikuje s procesorem na DPS pomocí sériové linky RS485. A po připojení převodníku UART/USB je možnost i připojení přes USB.

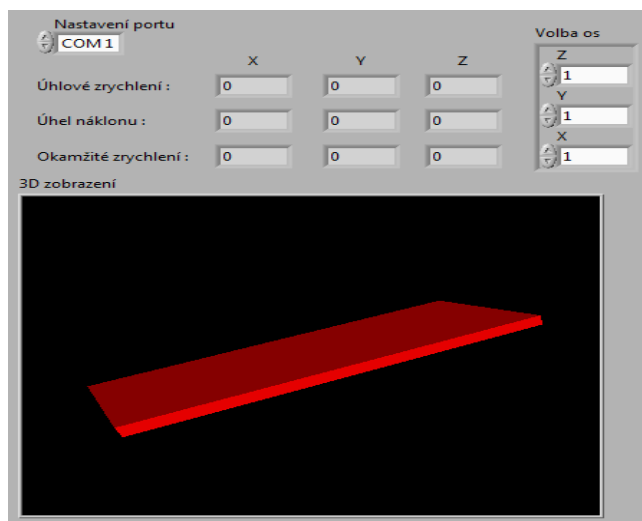
V uživatelem ovládané části programu je možnost výběru dostupných sériových portů a nastavení zapnutí nebo vypnutí os otáčení.

Program obsahuje dva grafy, devět datových polí a okno s 3D vizualizací. V grafech budeme sledovat a vyhodnocovat množství přenesených vibrací jako funkci zrychlení a samotné celkové zrychlení soustavy.



Obr. 35 Vizualizační software

Základními specifikacemi, které budeme sledovat a měřit jsou úhlové zrychlení, aktuální úhel náklonu soustavy a okamžité zrychlení soustavy. V grafu vibrace se po ukončení měření bude zobrazovat množství přenesených vibrací v poměrných zastoupeních od frekvencí 0,1 Hz až po 100 Hz.



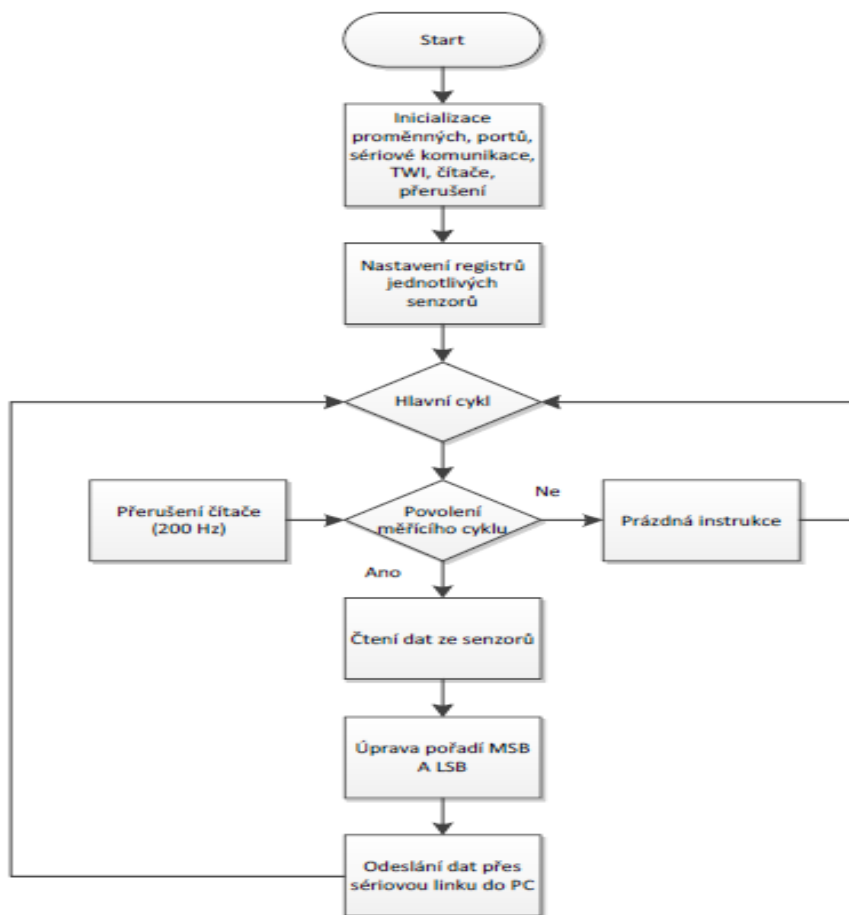
Obr. 36 3D vizualizace

Pro názornost o aktuální poloze je zde ještě okno s pohybujícím se 3D objektem v závislosti na přijatých datech. Ve výběru „Volba os“ je možnost nastavení zapnutí (1) nebo vypnutí (0) osy, kolem které se bude 3D objekt otáčet.

8.4 Komunikační protokoly

8.4.1 Vývojový diagram MCU

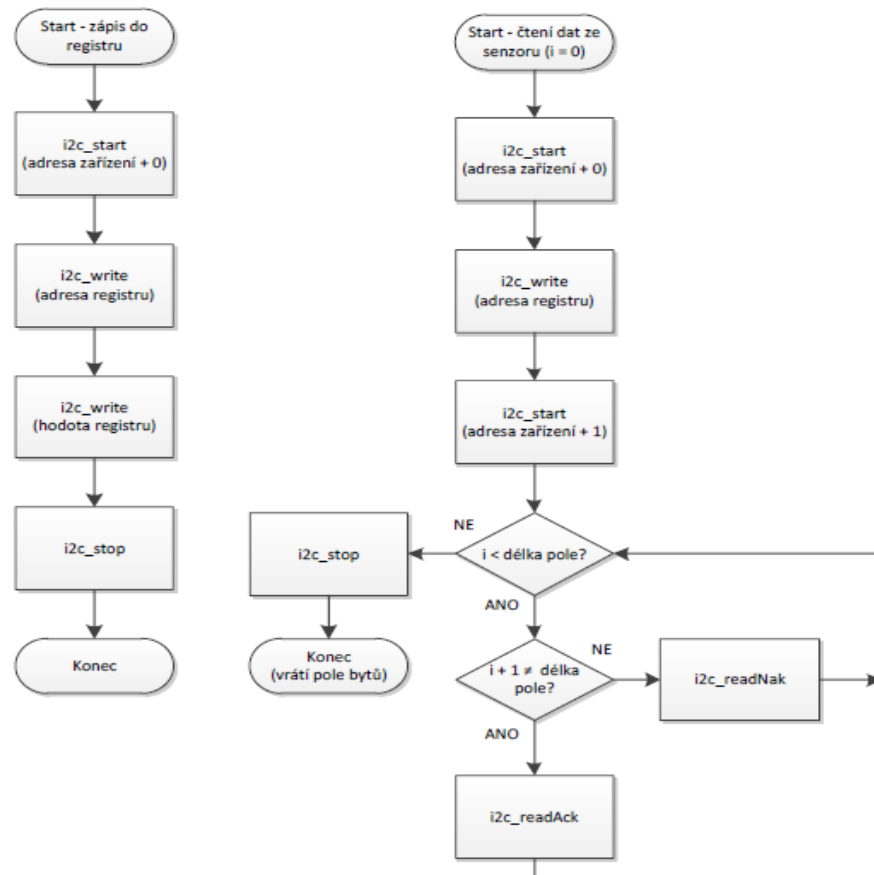
V hlavní struktuře programu, hned po zapnutí napájení dojde k inicializaci sériového portu, komunikace TWI, čítače a do senzorů jsou nahrány hodnoty programovatelných registrů. Potom program přechází do nekonečné smyčky. Je zde zařazena podmínka typu IF, že pokud nedojde k přerušení čítače, opakuje prázdnou instrukci. Když dojde k přerušení čítače, nastaví se hodnota proměnné z 0 na 1, což vyvolá povolení podmínky, ve které se nachází měřící řetězec viz. obr. 37.



Obr. 37 Vývojový diagram hlavní struktury mikrokontroléru.

Měřící sekvence se skládá z načtení dat ze senzorů, uspořádání bytů LSB a MSB a vytvoření komunikačního paketu, který je odeslán do PC. Byty LSB a MSB je třeba uspořádat v pořadí MSB jako první a LSB jako druhý. U některých senzorů je totiž jejich primární pořadí obrácené. Jako poslední instrukce v podmínce je nastavena časově synchronizační proměnná do hodnoty 0, kde setrvává až do dalšího přerušení. Celá smyčka se pak opakuje.

Použité senzory mají spoustu nastavitelných registrů, lze tedy při psaní programu předem nastavit jak rozsahy měřitelnosti tak i citlivost. Na obr. 38 je znázorněn vývojový diagram zápisu do registru senzoru. Tato instrukce se provádí vždy při spuštění MCU.



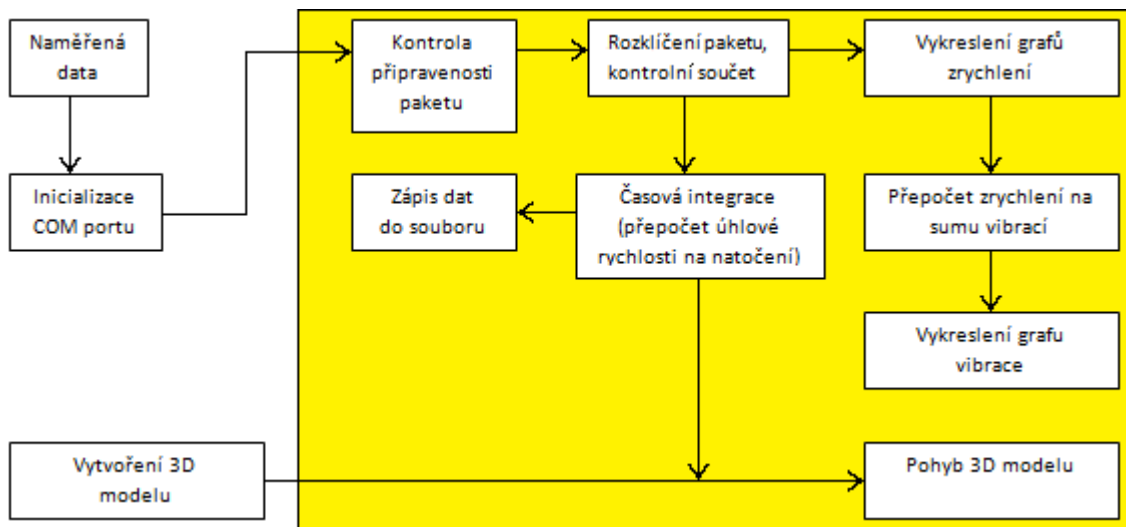
Obr. 38 Zápis do registru senzoru (vlevo), čtení dat ze senzoru (vpravo)

Po načtení dat, jsou data uspořádána do paketu o délce 20 bytů, který má následující strukturu.

Tab. 8 Pořadí datových bytů paketu

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0hFF	0hFF	ID	ACCK MSB	ACCX LSB	ACCY MSB	ACCY LSB	ACCZ MSB	ACCZ LSB	GYRX MSB	GYRX LSB
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
GYRY MSB	GYRY LSB	GYRZ MSB	GYRZ LSB	MAGX MSB	MAGX LSB	MAGY MSB	MAGY LSB	MAGZ MSB	MAGZ LSB	kont. součet

8.4.2 Vývojový diagram LabView



Obr. 39 Blokové schéma programu v prostředí LabView

Program je vytvořen jako FPGA projekt jehož základem je čtení dat sériového portu, dále následuje rozklad paketu a jeho ověření kontrolním součtem. Dále se vykreslují grafy a samozřejmě vypisují data. Z těchto dat pak čerpá 3D model informace pro zobrazení.

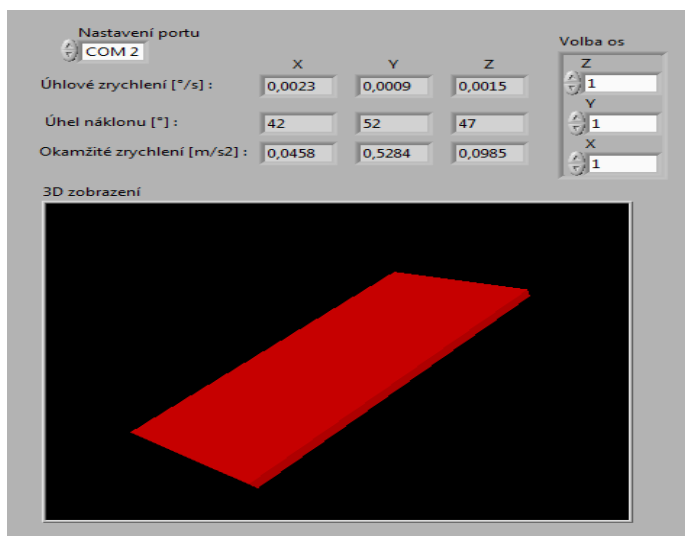
9. Testování

Prvními testy funkčnosti desky bylo proměření po zapojení ke zdroji napájení. Naměřené hodnoty odpovídaly zapojení senzorů dle datasheetů. V níže uvedené tabulce jsem testoval zatížení stabilizátoru napětí.

Tab. 9 Zatížení stabilizátoru napětí

Kontrola napájení	
Vstup [V]	Výstup [V]
4	3,29
6	3,29
8	3,3
10	3,3
12	3,3
14	3,3
16	3,3
18	3,3
20	3,3

Dále jsem zkoušel testovat funkčnost 3D zobrazení. Zaznamenaná data jsou na obr. 40. Kladný směr otáčení soustavy je definován proti směru hodinových ručiček, záporný pak ve směru.



Obr. 40 Testování 3D obrazce

Osazení chrániče páteře zatím úplně nekoresponduje s původním návrhem. Na obr. 41 jdou vidět tři DPS. Horní obsahuje obvody pro příjem EKG signálu, z něj jsou na spodní straně chrániče vyvedeny elektrody, jenž budou doléhat na záda měřené osoby. Prostřední je pro další zpracování EKG a předání informací bluetooth modulu který je její součástí. Spodní DPS obsahuje senzorový systém pro určování náklonu a polohy. Ve spodní části je uloženo bateriové napájení. Okolí napájení není nijak chlazeno, při testování docházelo k nadměrnému zahřívání napájecí jednotky. Řešením chlazení by bylo kupříkladu navrtání plastového krytu, překrývajícího napájení.



Obr. 41 Implementace do chrániče páteře

Celková podoba umístění jednotlivých DPS je pouze dočasná. Výsledná podoba bude záviset na rozhodnutí vedoucího dohlížejícího na průběh celého projektu.

10. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrzení systému pro měření orientace trupu řidiče vozidla. K tomuto účelu byl vytvořen prototyp inerciálního senzorového snímače obsahujícího akcelerometr gyroskop a magnetometr. Pro zdárné dokončení bylo třeba nastudovat datasheety použitých součástek a zvládnout základy programů Eagle, LabView a AvrStudio.

Nejdříve byla ověřena dostupnost všech senzorů a jejich rozsahy měřitelnost. U všech senzorů je možnost nastavení, jak rozsahu, tak i citlivosti nebo upravení adresy zařízení, čehož se dá využít nejlépe při řazení více stejných senzorů k jednomu mikrokontroléru. Sensory jsou typu MEMS z důvodu miniaturizace celého senzorového systému. Po nastudování možností a variability součástek bylo třeba navrhnout jejich zapojení. To probíhalo v již výše zmíněném programu Eagle verze 5.11.0 za pomoci datasheetů. Následoval návrh DPS, kdy musely být součástky na desku umístěny tak aby nedocházelo ke kumulaci rušení. Třeba blokovací kondenzátory musely být umístěny co nejblíže svých součástek, aby dostatečně rychle reagovaly na změny napětí. Taktéž umístění oscilátoru muselo být co nejblíže k mikrokontroléru a pokud možno vedení jeho cest symetrické, právě z důvodu kumulace rušivých signálů napájení, nebo jiných obvodů.

Samotná hardwarová realizace spočívala v osazení desky SMD součástkami a MEMS senzory. Pájení probíhalo v laboratořích CPIT. První verze osazené desky nevypadala příliš profesionálně a z důvodu zkorodování kontaktů pod mikrosenzory nebylo možné je kvalitně připájet. Proto byla vytvořena druhá verze desky plošného spoje doplněná o popisky a signálové testpointy. Osazení této desky proběhlo rychle, úspěšně a celkový dojem z ní je vynikající.

Aplikace pro vizualizaci naměřených dat byla vytvořena v grafickém programovacím jazyku LabView. Umožňuje dobře zobrazit příchozí data v reálném čase a zároveň provádět jejich analýzu. Program je navíc docela intuitivní a zvládnutí jeho základů mi trvalo jen pár dní. Příchozí data se navíc ukládají do souboru, je tedy možné je zpětně analyzovat třeba i v jiném programu (např. Matlabu).

Realizovaný prototyp senzorového systému slouží především pro využití v prototypových vozidlech řady Kaipan Voltage. Vyhodnocováním těchto dat můžeme stanovovat nežádoucí zrychlení ve formě vibrací a deformace páteře závodních jezdců. Vzhledem k tomu, že systém je konstruován, jako nezávislý najde uplatnění i v jiných oblastech sledování dynamických změn např.: lyžování, jízda na kole, nebo při určování počtu piruet a salt u gymnastů a akrobatů. Doplněn o EKG, snímání teploty, dechové frekvence atd., demonstruje možnosti sledování dynamických změn v dopravních prostředcích jak fyziologických tak i pohybových. Velice významným přínosem takového kompletního systému bude využití v oblastech lidské činnosti, kde znalost přesných informací o fyziologickém a dynamickém stavu snímané osoby umožní zlepšit fyzickou výkonnost, ba dokonce odvrátit možná zdravotní rizika.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ŽVAK, V.: *Měření objektu ve statických a dynamických podmínkách*, VŠB-TU Ostrava, 2010, Diplomová práce. Vedoucí práce ing. David Vala
- [2] **Vojáček, Antonín.** *automatizace.hw* .[Online]. [Citace: 2012-4-22].
<<http://automatizace.hw.cz/magneticke-senzory-s-hallovym-efektem-1-princip>>
- [3] **Dudáček, K.** *home.zcu*. [Online]. 2002, [Citace: 2012-01-08].
< http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova_rozhrani.pdf >
- [4] **Poucha, Pavel.** *rs485*. [Online]. [Citace: 2012-01-08]. <<http://www.rs485.cz/papouch1.htm>>
- [5] **Zehnula, Karel.** *Snímače neelektrických veličin*. 2. vydání. Praha 1: SNTL, 1983. 372 s. ISBN 04-519-83
- [6] **Martinek, Radislav.** *Senzory v průmyslové praxi*. Vlachová Viktorie. 1. vydání. Praha 10: BEN, 2004. ISBN 80-7300-114-4
- [7] **Kubela, T.** *Analýza pohybu lidského těla*. Ostrava: VŠB-TUO. Fakulta elektrotechniky a informatiky. Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství, 2011, a3s. Vedoucí práce Ing. Martin Augustynek
- [8] **SPIŠÁK, Jan. IMRAMOVSKÝ, Martin. PENHAKER, Marek.** *Snímače a senzory v biomedicíně*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1607-4.
- [9] **Kadubec, P.** *Vliv teploty na snímače vibrací*. Brno: VUT. Fakulta strojního inženýrství. Ústav automatizace a informatiky, 2008, a3s. Vedoucí práce Ing. Daniel Zuht
- [10] **Vojáček, Antonín.** *jonatan.spse.pilsedu*. [Online]. [Citace: 2012-1-3].
< <http://jonatan.spse.pilsedu.cz/~mazanec/gyroskopy.htm> >
- [11] **Vojáček, Antonín.** *Automatizace.hw*. [Online]. 2007-01-14, [Citace: 2011-12-30].
<<http://automatizace.hw.cz/clanek/2007011401>>
- [12] **Vojáček, Antonín.** *Automatizace.hw*. [Online]. 2007-01-26, [Citace: 2011-12-30]. <<http://automatizace.hw.cz/clanek/2007012601>>
- [13] *wikipedia*. [Online]., 2011-12-29 [Citace: 2012-1-11].
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>>
- [14] **Černý Martin, Penhaker Marek.** *Biotelemetrie*. 1. Vydání. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1605-0

- [15] **Schauer, P.:** *Inerciální a neinerciální vztažné soustavy*. Brno, FAST VUT Brno 2007. <
http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka_schauer/inercialni_a_neinercialni_soustavy.pdf>
- [15] URL:< http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=39>
- [16] URL:< http://is.muni.cz/do/1451/e-learning/kineziologie/elportal/pages/kinematika_dynamika.html>
- [17] **Chudáček, V. - Lochman, L. - Stolín, M.:** *Navigační satelitní systémy v železniční zabezpečovací technice*. Praha, 2001. 10 s.
- [18] **Jiří Vlček.** *Základy elektrotechniky-Elektrotechnologii*, [Citace: 2012-4-30].
< www.tzb-
info.cz/download.py?file=docu/texty/0001/000107_odruseni_plosnych_spoju.pdf>
- [19] **Otáhalová, T.** *Vestavěnný senzorový systém pro sběr a vyhodnocování bioedicínských dat v reálném case*. Ostrava: VŠB-TUO. Fakulta elektrotechniky a informatiky. Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství, 2011, Vedoucí práce Ing. David Vala
- [20] Doskočil, E. *Zařízení pro inerciální navigaci*. Praha: ČVUT. Fakulta elektrotechniky a informatiky. Katedra řídicí techniky, 2006. 53 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Němeček
- [21] **Oldřich Matoušek, Jaroslav Baumruk, Bohuslav Málek.** *Vibrace*. Jiří Bílek - GEOPRINT. 1. Vydání.Praha 10. 1998
- [22] **Vojáček, Antonín.** *Automatizace.hw*. [Online]. 2009-09-11, [Citace: 2012-08-14].
<http://automatizace.hw.cz/integrované-mems-gyroskopy>

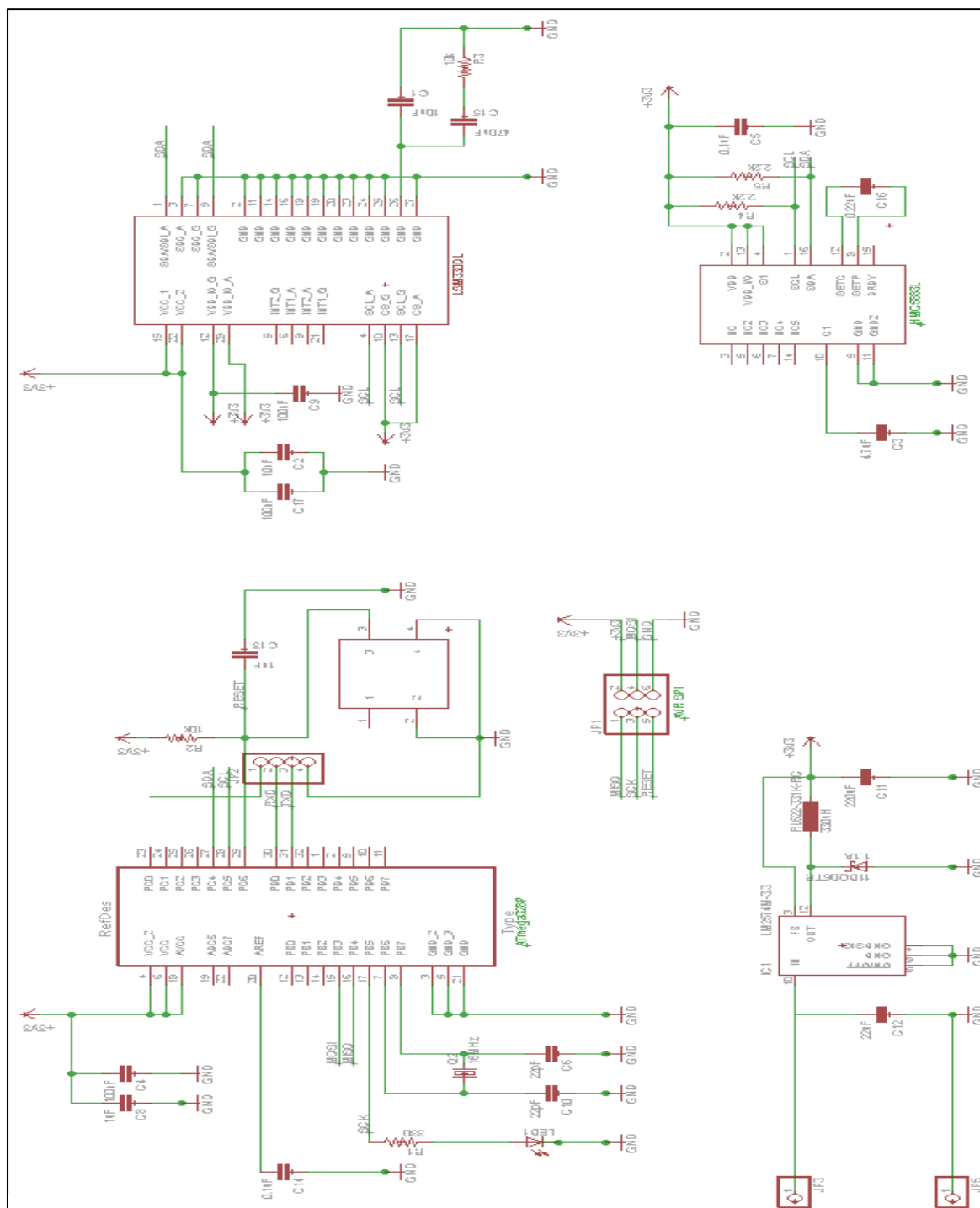
SEZNAM PŘÍLOH

- I. Celkové schéma zapojení
- II. Návrh DPS

CD

- III. Blokové schéma zapojení v LabView
- IV. AVR projekt pro mikrokontrolér
- V. Datasheety použitých součástek
- VI. Návrh DPS soubor spustitelný pro Eagle

I. Celkové schéma zapojení



II. Návrh DPS v prostředí Ealgle

